

OPTICA



ESSELTE STUDIUM

**PRODUCIDO ESPECIALMENTE PARA
EL MINISTERIO DE EDUCACION DE
LA REPUBLICA DE VENEZUELA**

EXPERIMENTOS

usando aparatos de los equipos

DE OPTICA 1 Y 2

por
GÖRAN HOLMSTRÖM

y
HELGE KARLSSON

traducido del inglés
por
Durán de Roquero

Aparatos diseñados por
EMIL BENGTTSSON

 **ESSELTE STUDIUM**

Estocolmo Suecia

INDICE

PREFACIO	5
INTRODUCCION	6
Lista de aparatos de los equipos de "Optica 1 y 2"	8
La luz se propaga en línea recta	12
Sombras simples (Proyección de sombras)	14
La umbra y la penumbra debidas a una doble fuente de luz y a una fuente de luz extensa	15
La cámara de orificio puntiforme (Los rayos de luz se propagan en líneas rectas e independientemente los unos de los otros)	16
La intensidad de la iluminación decrece como la inversa del cuadrado de la distancia desde la fuente de luz	18
La intensidad de la iluminación depende del ángulo de incidencia	19
Fotometría	20
Reflexión de la luz	22
La reflexión de los rayos de luz sobre un espejo plano	24
Los rayos incidentes y reflejados se encuentran en un plano perpendicular a la superficie reflejante	25
Reflexión en un espejo plano. Tres rayos	26
Posición de la imagen formada por un espejo plano	27
Reflexión de espejos cóncavos y convexos	28
Imágenes formadas por espejos cóncavos y convexos	29
Refracción de la luz al pasar del aire al agua	31
Refracción de la luz al pasar del agua al aire. Refracción total interna	32
El arco iris	34
Refracción de la luz al pasar del vidrio al aire. El ángulo crítico	35
Determinación del índice de refracción. Método gráfico ...	37
Reflexión total interna en prismas	39
Refracción por una placa de vidrio de caras paralelas	41
Refracción por un prisma. Ángulo de refracción. Arista de refracción	42
Determinación del ángulo de refracción de un prisma	44
Determinación del ángulo de mínima desviación. El índice de refracción del vidrio	46
La simetría del paso de la luz cuando la desviación es mínima	48
La refracción de tres rayos en un doble prisma	49
Refracción por lentes (modelos)	50
Sistemas de lentes (modelos)	52
El efecto de las lentes convergentes (positivas) en un haz paralelo. El plano focal	53
Efecto de las lentes divergentes (negativas) en un haz paralelo. El foco	55

* *

© 1978. Esselte Studium AB, Stockholm

Printed in Sweden

Berlings, Lund 1979

Combinación de lentes	56
La formación de imágenes por lentes positivas	57
La distancia de la imagen a una lente positiva depende de la distancia del objeto a la lente y de la distancia focal	59
El tamaño del objeto y de la imagen para un lente positivo. Ampliación	61
La formación de imágenes por lentes negativas	62
El ojo. Acomodación	64
Miopía e hipermetropía	65
El ojo y sus defectos de acomodación	67
El proyector (Diascopio, Ampliadora)	69
La lupa	73
El microscopio	74
El telescopio astronómico	76
El telescopio de Galileo	78
Aberración esférica	79
Coma	81
Astigmatismo	82
Curvatura de la superficie de la imagen	84
Distorsión	86
Aberración cromática	87
Dispersión	88
Espectro de absorción	89
El efecto Tyndall ("Puesta de sol")	91
Combinación aditiva de los colores espectrales	93
Combinación subtractiva de colores	95
Interferencia en películas delgadas	96
Experimento de Young. Interferencia de ondas al pasar a través de dos ranuras	97
Difracción de la luz por una ranura (a) y por una aguja (b) ..	98
Filtros de polarización	99
Rotación del plano de polarización (a). Doble refracción (b) ..	101
Demostración de los estados de esfuerzo en materiales transparentes (Doble refracción debida el esfuerzo)	103

PREFACIO

Al diseñar los equipos de aparatos para experimentos de Optica, y al compilar este libro de experimentos, hemos tratado de adecuarlo a varios niveles de las escuelas primaria y secundaria. Permitiendo a los alumnos el uso de aparatos con los cuales éstos se familiarizan a una temprana edad, mucho tiempo que de otra manera se requeriría en la instrucción para el uso de los mismos, puede ser dedicado en cambio a cuestiones más esenciales.

Hemos también tratado de abreviar el tiempo requerido para la preparación de los experimentos pro medio de un apropiado diseño del equipo y de la presentación de los experimentos. Esto permite al maestro y a los alumnos distribuir su tiempo más eficientemente, facilitándose además el ordenamiento de los aparatos en el laboratorio de la escuela.

Volviendo a lo ya dicho, la sólida construcción de los aparatos los hacen adecuados para el uso en las escuelas primarias, mientras que su precisión satisface los requerimientos de los cursos de las secundarias. Las instrucciones para los experimentos apuntan a permitir la capacitación de los alumnos de todos los niveles para realizar una determinada serie de experimentos, con la ayuda de un libro de texto adecuado. De cualquier modo, esperamos que hasta el experimentado maestro encontrará el libro provechoso, en virtud de la lista de elementos al comienzo de cada experimento, junto con las fotografías y diagramas.

Los experimentos más avanzados incluídos en este libro pueden ser considerados como ejemplos para ilustrar la utilidad de los aparatos, para la enseñanza en estas clases. Las fotografías están destinadas a mostrar la disposición de los aparatos para los experimentos respectivos, tanto como el aspecto de los mismos en condiciones normales. Estas han sido tomadas con una cámara común, y ni las fotografías ni los clisés han sido retocados.

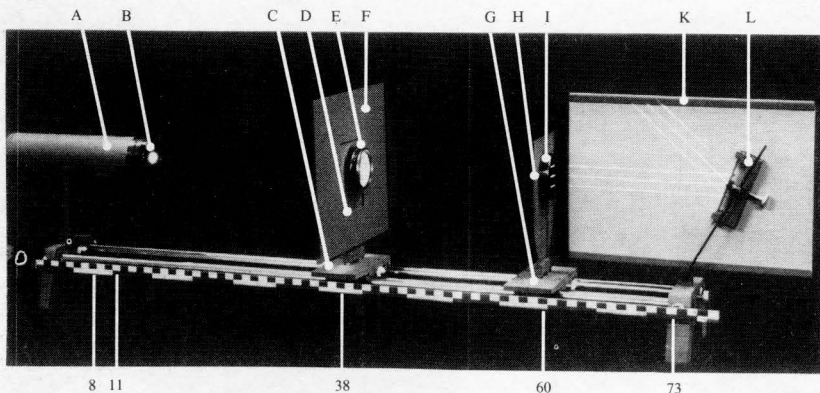
Emil Bengtsson Göran Holmström Helge Karlsson

INTRODUCCION

La forma en la cual se describe el dispositivo del experimento puede ser comprendida a través del ejemplo siguiente. (Las letras A, B, C, etc. a la izquierda de la lista se refieren a las letras correspondientes a la parte superior de la figura, los números de la derecha, a la escala graduada, debajo de la figura). Como puede verse con este ejemplo, el aparato se ubica por regla general en la figura, con las posiciones numeradas de izquierda a derecha.

REFLEXION POR MEDIO DE UN ESPEJO PLANO. TRES RAYOS

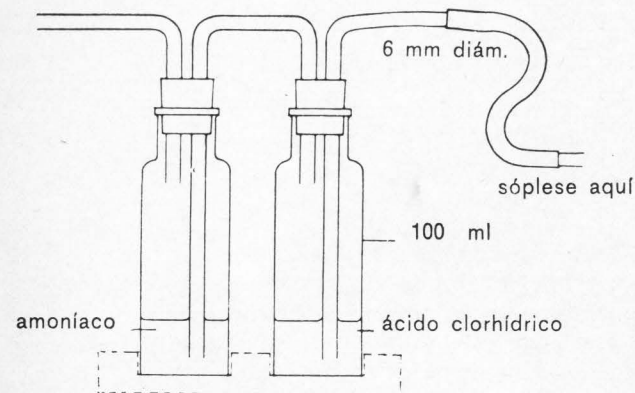
Aparatos	Posición
A Lámpara	8
B Diafragma de iris en el tubo de la lámpara	11
C Cursor con	
D Porta-lente. En el porta	
E Lente + 30 y	38
F Pantalla con abertura	
G Cursor con	
H Soporte para placas de 5 × 5. En el soporte	
I filtro para tres colores (opcional) y	60
K Pantalla de proyección con papel blanco y	
L Espejo ajustable (Plano)	73



Es práctico siempre colocar el cero de la escala graduada opuesto al tornillo de fijación, a la izquierda del pie del banco.

Cuando la lámpara es desplazada al máximo en su tubo, su filamento está ubicado verticalmente sobre el pie del banco (En el cero de la escala).

El paso de los rayos de luz a través del aire puede hacerse visible por medio de humo, por ejemplo, el del tabaco, aunque es preferible el humo de sal de amonio. Este último puede ser producido con las indicaciones del diagrama adjunto.



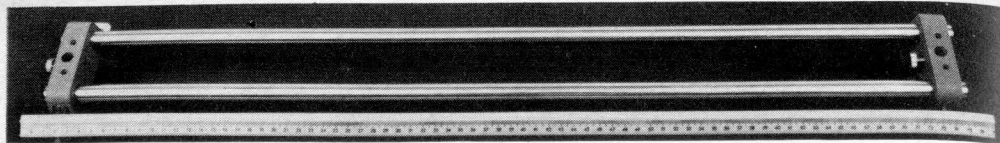
Cuando se usa el humo de sal de amonio, el aparato debe ser limpiado después de su empleo.

El paso los rayos en el agua puede hacerse visible agregando unas gotas de solución de eosina.

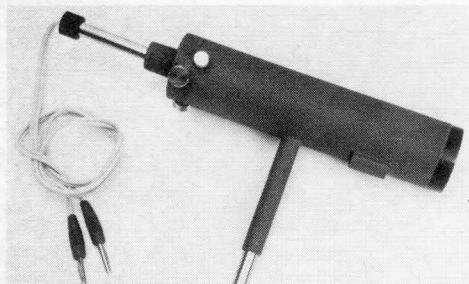
LISTA DE APARATOS DE LOS EQUIPOS DE "OPTICA 1 y 2"

Elemento No	Descripción	Número en el equipo
	Banco óptico:	2
5550-011	Pie con tornillos	2
5550-014	Varilla	2
5550-015	Escala graduada, 0-75 cm	1
2015-000	Soporte	1
5550-019	Lámpara de proyección	1
4550-103	Lámpara, 6 V 5 A	2
5550-021	Cursor (Cursor de banco)	3
5550-023	Porta lente	2
5550-024	Soporte para placa 5 × 5	1
5550-025	Espárrago para porta-lente (repuesto)	2
5550-026	Porta-espejo rotativo	1
5550-027	Mesa de prisma	1
5550-028	Pantalla de proyección con slip a resorte	1
5550-029	Cartón blanco para la pantalla	3
5550-030	Cartón negro	2
5550-031	Escala angular, cartón	1
5550-034	Obturador uniranurado	1
5550-135	Obturador con ranura ajustable	1
5550-036	Obturador triranurado	1
5550-037	Obturador con orificio cuadrado, 1 cm ²	1
5550-038	Obturador con orificio en forma de uno	1
5550-039	Diafragma de iris	1
5550-040	Pantalla con abertura 165 × 198 mm	1
5550-041	Lente, 42 mm, f = + 50 mm, montado	1
5550-042	Lente, 42 mm, f = + 100 mm, montado	1
5550-043	Lente, 42 mm, f = + 150 mm, montado	1
5550-044	Lente, 42 mm, f = + 300 mm, montado	1
5550-045	Lente, 42 mm, f = - 100 mm, montado	1
5550-046	Lente, 42 mm, f = - 200 mm, montado	1
5550-047	Modelo de lente, vidrio, semicircular	1
5550-048	Modelo de lente, vidrio, biconvexo	1
5550-049	Modelo de lente, vidrio, biconcavo	1
5550-050	Placa de vidrio, trapezoidal	1
5550-051	Placa de vidrio, triangular (45°, 45°, 90°)	1
4550-032	Prisma, cristal 25/25	1
5550-054	Prisma hueco, triangular, perspex	1
5550-055	Cubeta, perspex	1
5550-056	Espejo, metálico, ajustable a plano, cóncavo o convexo	1
5550-057	Espejo, 42 mm, cóncavo y convexo	1
5550-058	Espejo, plano, 7 × 7 cm	1
5550-059	Placa de vidrio esmerilado 5 × 5 cm	1

Elemento No	Descripción	Número en el equipo
5550-060	Place de vidrio esmerilado modelado, 5 × 5 cm	1
5550-061	Slide de proyección 5 × 5 cm	1
5550-062	Filtro de tres colores (rojo, amarillo y azul), 5 × 5 cm, montado	2
5550-063	Filtro rojo, 5 × 5 cm, 3 tonos (a, b, c)	3
5550-064	Filtro amarillo, 5 × 5 cm	1
5550-065	Filtro azul, 5 × 5 cm	1
5550-166	Filtro polarizador, montado	2
5550-067	Varilla redonda de madera	2
5550-068	Gotero para solución de eosina	1
5550-070	Polvo de eosina, 5 g.	1
5550-069	Tubo de ensayo	3
4550-202	Transformador (puede ser pedida y entregado separadamente 110 V)	1
4026-638	Matraz 100 cm ³	1
5550-071	Carrete de hilo, 10 m.	1



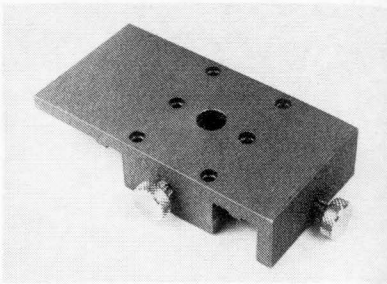
5550-011 -014 -015



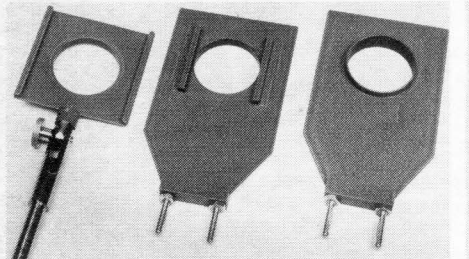
5550-019



4550-103



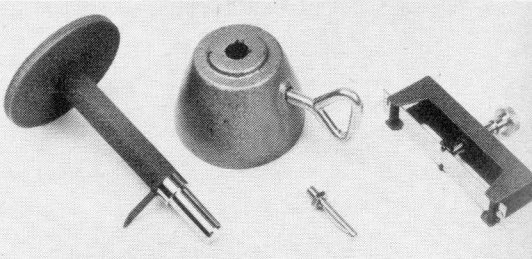
5550-021



5550-026

-024

-023

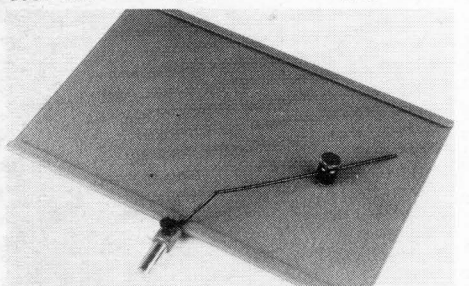


5550-027

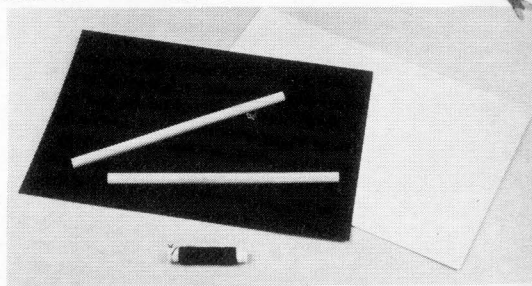
2015-000

5550-025,

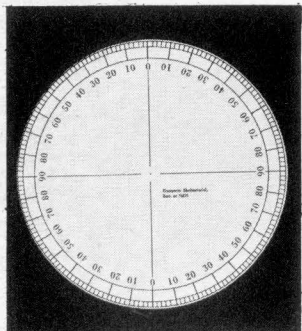
-056



5550-028



5550-030, 029, 067, 071



5550-031



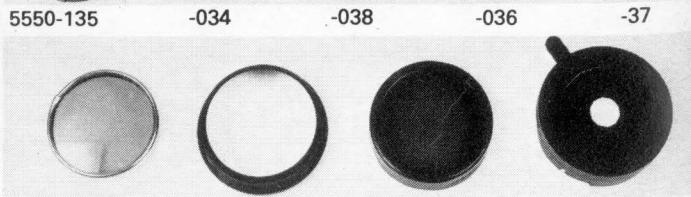
5550-135

-034

-038

-036

-37

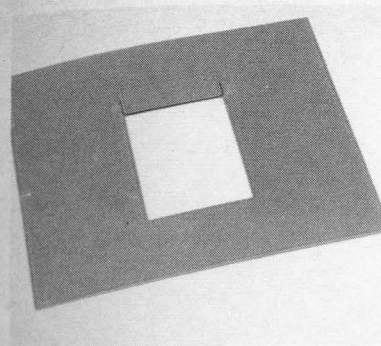


5550-057

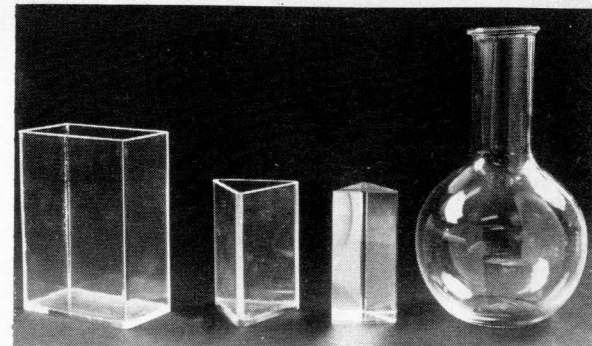
-041 - -046

-166

-039



5550-040

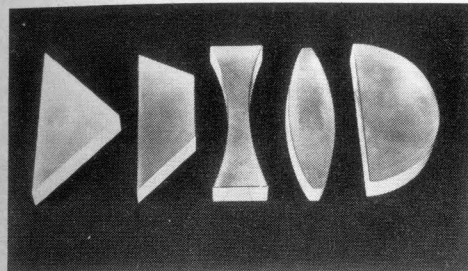


5550-055

-054

4550-032

4026-638



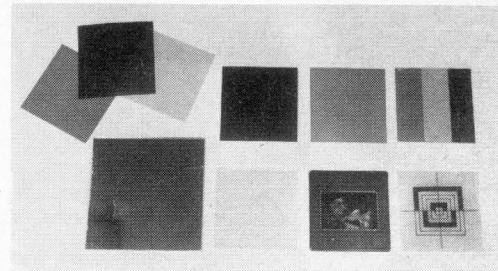
5550-051

-050

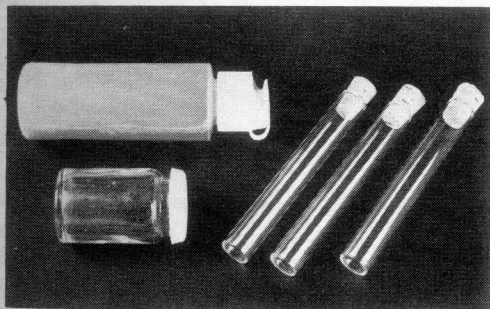
-049

-048

-047

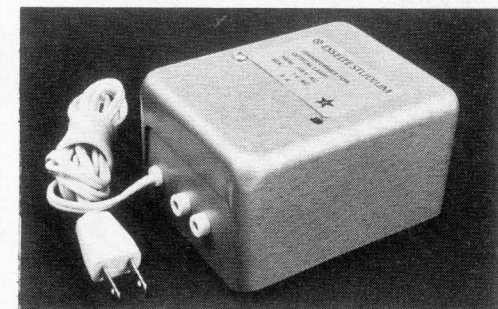


5550-058 - 5550-065

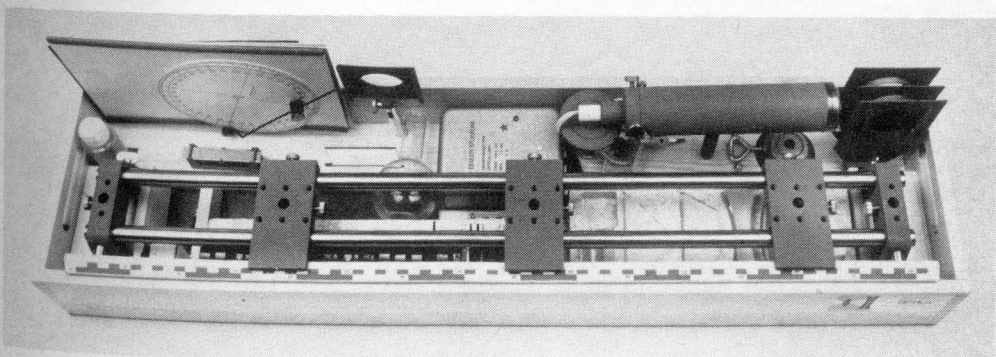


5550-068, -070

-069

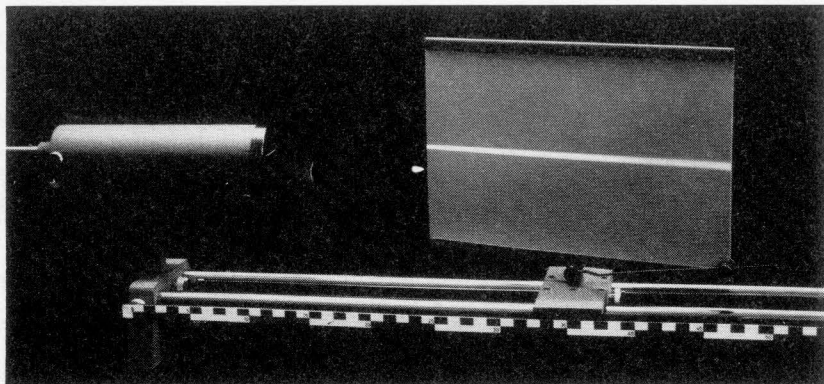


4550-202



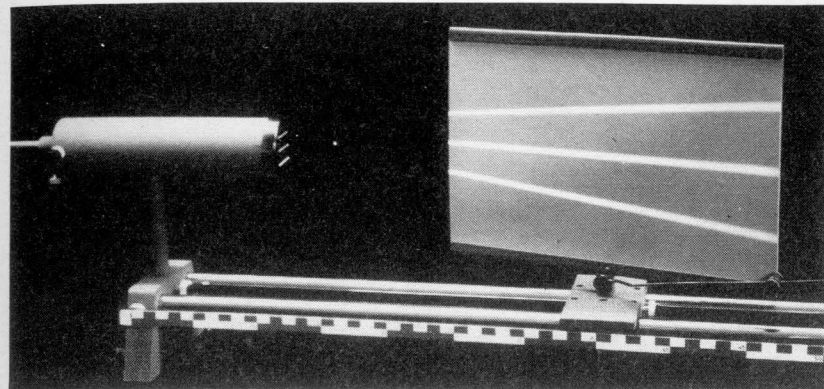
LA LUZ SE PROPAGA EN LINEA RECTA (PROPAGACION RECTILINEA)

Aparatos	Posición
Lámpara	0
Obturador uniranurado colocado en el tubo de la lámpara	10
Cursor con Pantalla	
Obturador tri-ranurado (b)	35



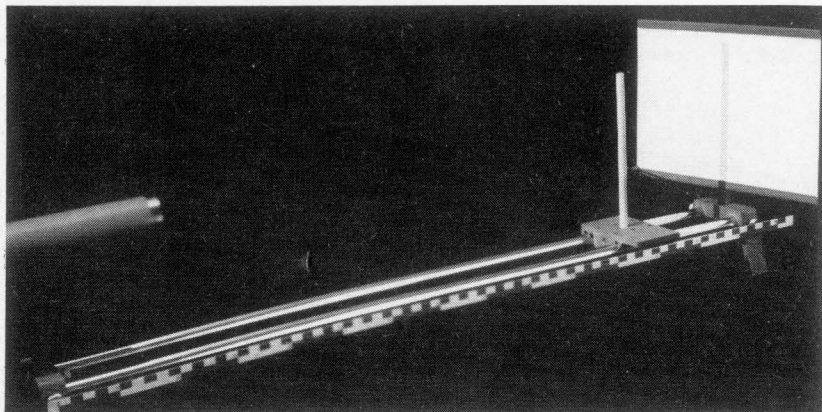
- a) La lámpara debe estar en su posición de máximo desplazamiento en el tubo. Colóquese el obturador uniranurado en el tubo de la lámpara con la ranura en posición horizontal. Móntese la pantalla sobre su cursor, y gíresela hasta que se ubique casi paralelamente al banco. Un haz de luz recto, un "rayo", se observa en la pantalla y puede hacerse visible en el aire por medio de humo (Referente al humo, véase pág. 7).
- b) Reemplácese el obturador uni-ranurado por el tri-ranurado. Se obtienen tres rayos *divergentes*. (Humo).

- c) Cuando el obturador es retirado, se obtiene un cono de luz *divergente*. (Humo).



SOMBRAS SIMPLES (PROYECCION DE SOMBRAS)

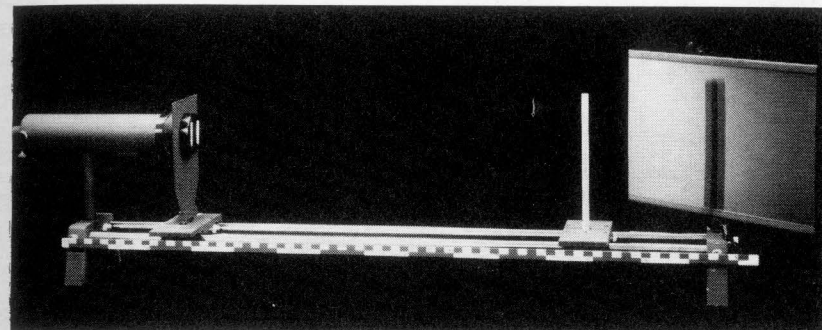
Aparatos	Posición
Lámpara	0
Cursor con	
Varilla redonda u otro objeto	60
Pantalla	73



- Móntese la varilla en su cursor. Gírese la pantalla de manera que pueda ser fácilmente observada por la clase. Es ventajoso mostrar la sombra sobre una pared, a la mayor distancia posible.
- Otros objetos, verbigracia un tubo capilar, una cuerda vibrando un instrumento eléctrico adecuado, o algo similar, puede ser proyectado sobre la pared o la pantalla. También se puede proyectar el perfil de un rostro. *Siluetas* pueden ser explicadas, y el principio de las *sombras chinescas*, mencionado.

LA UMBRA Y LA PENUMBRA DEBIDAS A UNA DOBLE FUENTE DE LUZ Y A UNA FUENTE DE LUZ EXTENSA

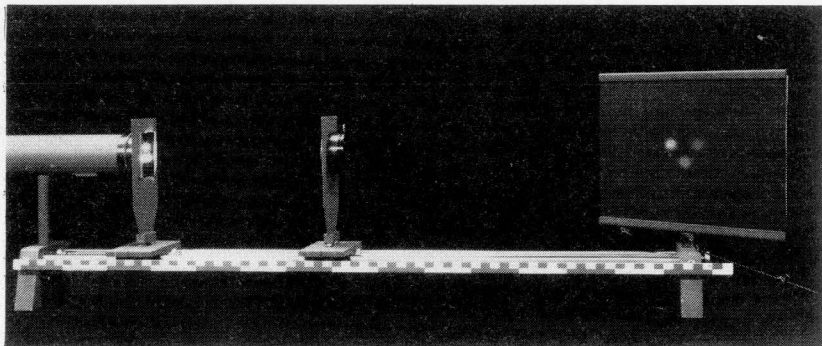
Aparatos	Posición
Lámpara	0
Cursor son	
Soporte para placa de 5×5 . En el soporte	
Placa de vidrio esmerilado y	
Obturador tri-ranurado	11
Cursor con	
Varilla redonda	40
Pantalla	73



- Colóquese la placa de vidrio esmerilado en su soporte, inmediatamente frente a la lámpara. Las ranuras del obturador tri-ranurado, deben estar en posición vertical y la del centro cubierta con cartón. Colóquese la varilla en su cursor. Hay dos sombras en la pantalla.
- Acérquese la varilla a la pantalla. Las sombras se acercan la una a la otra hasta que se superponen y forman umbra y penumbra. Diagrama del experimento b) en la pag 17.
- Retírese el obturador tri-ranurado. La placa de vidrio esmerilado sirve ahora como una fuente extensa de luz. La sombra en la pantalla, tiene una parte externa que es iluminada parcialmente por la fuente – la penumbra – y una parte interior que no recibe luz – la umbra. Confrontar con un eclipse solar, y las sombras que da en la habitación una lámpara opalescente.

LA CAMARA DE ORIFICIO PUNTIFORME (LOS RAYOS DE LUZ SE PROPAGAN EN LINEA RECTA E INDEPENDIENTEMENTE LOS UNOS DE LOS OTROS)

Aparatos	Posición
Lámpara	8
Cursor con Soporte para placa de 5×5 . En el soporte placa de vidrio esmerilado, y Papel negro (5×5) con tres orificios como se muestra en el croquis	11
cursor con Porta-lente. En el porta diafragma iris	35
Pantalla	73
Filtro de tres colores (b)	



- La placa de vidrio esmerilado y los tres orificios en el papel producen tres puntos luminosos. Cuando el iris está enteramente abierto hay una mancha iluminada sobre la pantalla, pero según se reduce la abertura, aparecen tres puntos luminosos. Cubriendo los orificios del papel uno por uno, pueden ser mostrados los pasos de luz.
- Reemplácese el papel por el filtro de tres colores. El iris produce una imagen invertida del filtro. (Si colocamos en el tubo de la

- lámpara el lente + 5 el filtro estará más uniformemente iluminado).
- Una imagen del filamento de la lámpara (8) puede ser obtenida sobre la pantalla (40) con el diafragma iris a (12). Para comenzar, ábrase el iris y se obtendrá una mancha de luz en la pantalla. Luego, redúzcase lentamente la abertura, y la mancha de luz será gradualmente transformada en una definida imagen del filamento. Si se aleja la pantalla de la lámpara, el tamaño de la imagen aumenta y la intensidad de la imagen disminuye, pero en otros aspectos, la imagen permanece igual.

*Papel negro con tres orificios
Dimensiones en mm*

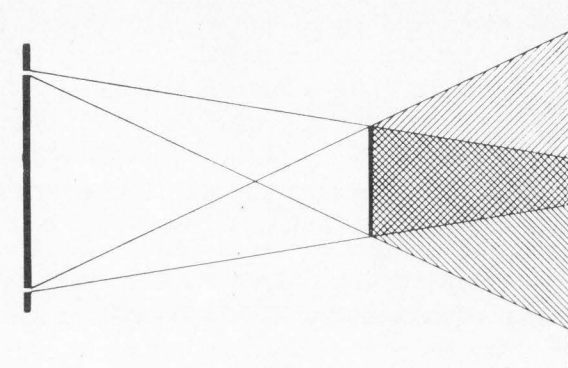
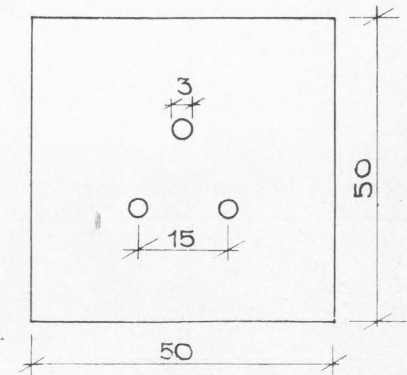
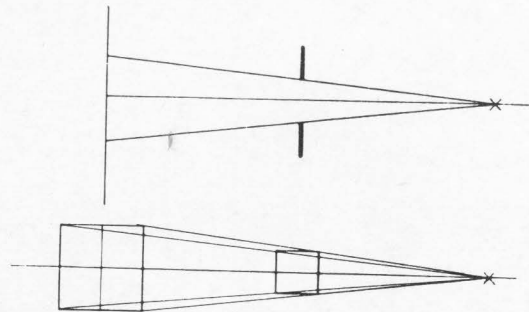


Diagrama del experimento 3b) en la pág. 15

LA INTENSIDAD DE LA ILUMINACION DECRECE COMO LA INVERSA DEL CUADRADO DE LA DISTANCIA DESDE LA FUENTE DE LUZ

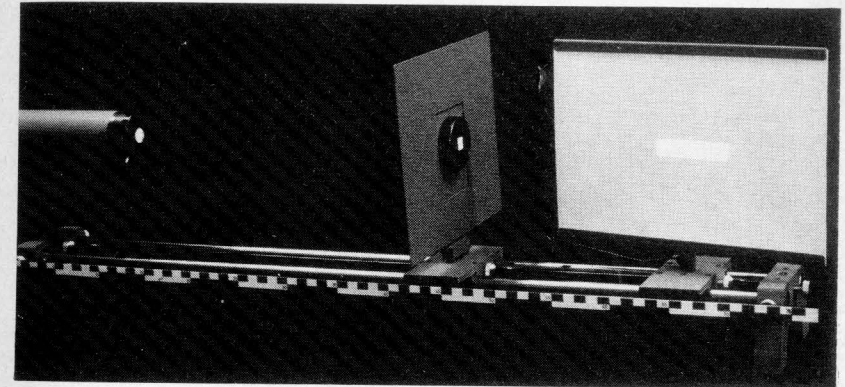
Aparatos	Posición
Lámpara	0
Cursor con Porta lente. En el porta	
Obturador con abertura cuadrada (1 cm ²)	30
Cursor con Pantalla cubierta con papel milimetrado	60



- Mídase en la pantalla el lado del cuadrado iluminado. La cantidad de luz que llega a la pantalla es la misma que la que pasa a través de la abertura. Si la distancia entre la pantalla y la fuente es dos veces el largo de la distancia entre la fuente y la abertura, la superficie iluminada es cuatro veces la superficie de la abertura. Por consiguiente, la cantidad de luz que llega por unidad de superficie de la pantalla es cuatro veces menor que la que pasa a través de la abertura por unidad de superficie.
- Repítase el experimento con la abertura en 20 y la pantalla en 60, y posteriormente con la abertura en 15 y la pantalla en 60.

LA INTENSIDAD DE LA ILUMINACION DEPENDIENDO DEL ANGULO DE INCIDENCIA

Aparatos	Posición
Lámpara	0
Diafragma de iris, ajustado al tubo de la lámpara	11
Cursor con Porta-lente. En el porta	
Obturador con orificio cuadrado (1 cm ²) y Pantalla con abertura	45
Cursor con Pantalla cubierta con papel milimetrado	65

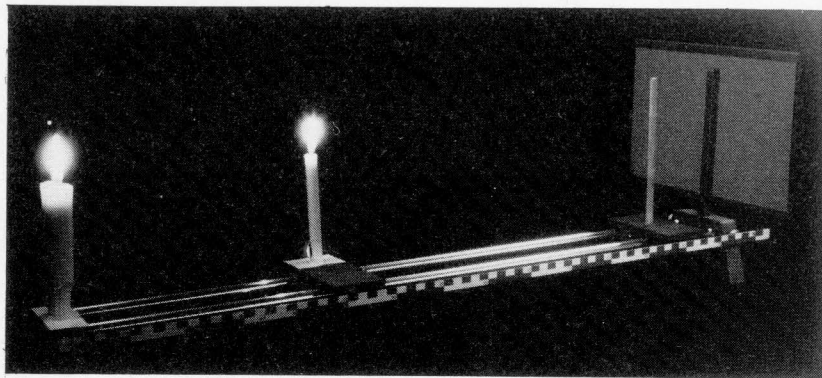


Con el objeto de contar cuadrados en el papel milimetrado, la abertura debe estar relativamente cerca de la pantalla, de manera que la sombra sea bien definida. Colóquese la pantalla primero, en ángulo recto con respecto al haz de luz. Luego, vuélvase un tanto. Según sea mayor el giro, la mancha se ensancha, mientras que la altura permanece constante. La intensidad de la iluminación decrece según que el ángulo de incidencia aumente. (El ángulo de incidencia es el formado entre la dirección del haz y la normal a la superficie).

Cf. la diferencia en la intensidad de la luz del sol sobre las superficies con declives al norte o sur.

FOTOMETRIA

Aparatos	Posición
Vela	0
Cursor con Vela ("Vela de árbol de Navidad")	
Cursor con Varilla redonda	65
Pantalla	73



El objeto de este experimento es comparar el poder de iluminación de las dos velas. Colóquese una vela un poco a la izquierda de la línea media del banco, y la otra un poco hacia la derecha. Dos sombras de la varilla se observan en la pantalla. Córranse las dos pequeñas velas hasta que las dos sombras estén igualmente oscuras. Ajustando la posición de una de las velas, hacia un lado del banco, las dos sombras pueden hacerse coincidir borde con borde, lo que facilita el ajuste final de las distancias. Anótese las distancias de las dos velas desde la pantalla. La relación de los poderes de iluminación pueden calcularse entonces de acuerdo con la ley de la inversa de los cuadrados.

Comentario

Cuando los alumnos comparan fuentes de luz, pueden usar un fotómetro de mancha grasa o de Bunsen en vez del de sombras o de Rumford. Este puede ser fabricado poniendo un poco de grasa (una gota de estearina de una vela, que luego se raspa) en el centro de un trozo de papel de 5×5 cm. El papel se monta entonces en soporte

para placa de 5×5 sobre el cursor *entre* las dos fuentes de luz. La mancha de grasa se ve oscura en luz reflejada y brillante por *transparencia*, si se la compara con el resto del papel. El fotómetro es desplazado hasta que la mancha de grasa no pueda ser distinguida. Fuentes adecuadas para la comparación son: Vela de árbol de Navidad-vela común, vela – encendedor, encendedor – lámpara del banco óptico.

REFLEXION DE LA LUZ

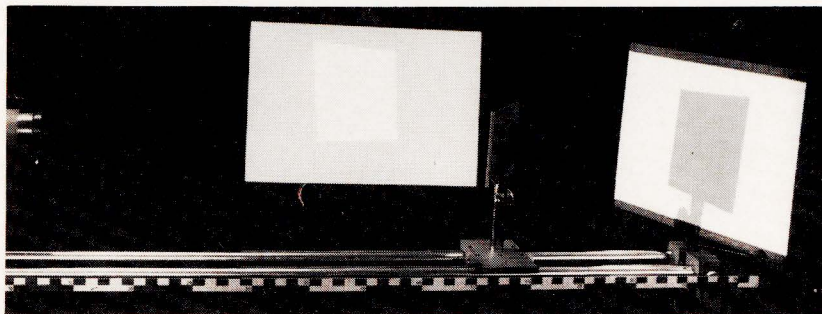
Aparatos

Lámpara
Cursor con
Pantalla, cubierta con papel blanco
Lámina de aluminio (d)
Porta-espejo rotativo (f). En el porta
Espejo plano (f)
Hoja de papel blanco ap. 50×50 cm (f)

Posición

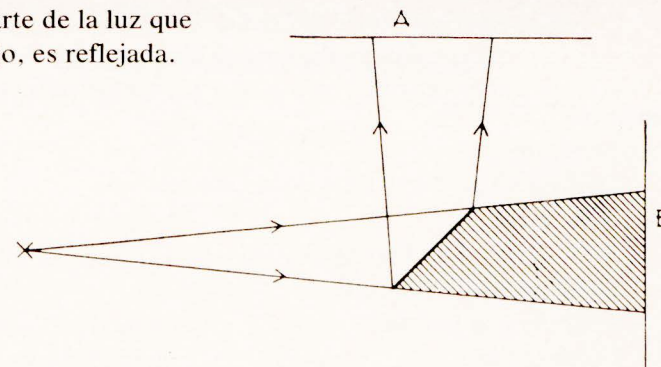
0

25



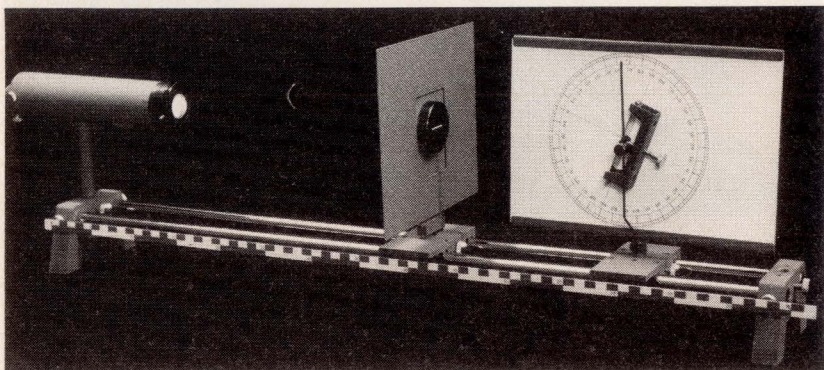
- Colóquese la pantalla con la faz blanca de cara a la lámpara. Nótese como ésto ilumina la habitación.
- Vuélvase el otro lado de la pantalla hacia la lámpara. La iluminación decrece.
- Gírese lentamente la pantalla. Nótese como la iluminación varía.
- Reemplácese el papel blanco por la lámina de aluminio que ha sido previamente arrugada y luego alisada. Nótese la distribución de la luz reflejada.
- Cúbrase el reverso de la pantalla con la lámina de aluminio lisa. Compárese la reflexión de este material con la reflexión de la lámina arrugada, rotando lentamente la pantalla.
- Arreglo experimental como muestra el diagrama: La pantalla en (73), porta-espejo rotativo en (52). La intensidad de la iluminación en A es insignificanemente menor que en B.

La mayor parte de la luz que llega al espejo, es reflejada.



LA REFLEXION DE LOS RAYOS DE LUZ SOBRE UN ESPEJO PLANO

Aparatos	Posición
Lámpara	8
Diafragma de iris el tubo de la lámpara	11
Cursor con	
Porta-lente. En el porta	
Obturador uni-ranurado, y	40
Pantalla con abertura	
Cursor, con	
Pantalla,	
Escala angular, y	
Espejo ajustable (plano)	60

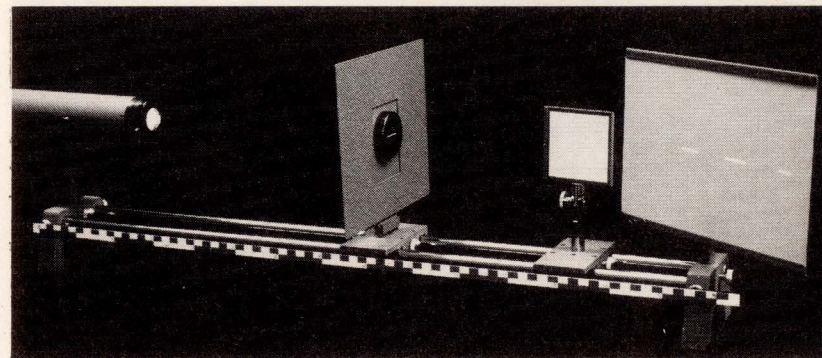


Móntese el diafragma de iris directamente en el tubo de la lámpara. Colóquese la ranura horizontalmente. Gírese el espejo a la posición vertical (la normal está paralela a la dirección 0 de la escala). La pantalla debe estar casi paralela al banco. La abertura del iris puede ser reducida para evitar el exceso de luz.

- El rayo de luz incide a lo largo de la normal del espejo, y es reflejado a lo largo de la misma línea.
- Hágase girar el espejo sucesivamente a mayores ángulos de incidencia. Se encuentra así, que el ángulo de reflexión es siempre igual al de incidencia.
- El ángulo que forma el rayo incidente con el reflejado, es el doble del ángulo en que se desvía el espejo.

LOS RAYOS INCIDENTES Y REFLEJADOS SE ENCUENTRAN EN UN PLANO PERPENDICULAR A LA SUPERFICIE REFLECTANTE

Aparatos	Posición
Lámpara	8
Diafragma de iris en el tubo de la lámpara	11
Cursor con	
Porta-lente. En el porta	
Obturador uni-ranurado, y	
Pantalla con abertura	40
Cursor con	
Porta-espejo rotativo. En el porta	
Espejo plano	60
Pantalla	73

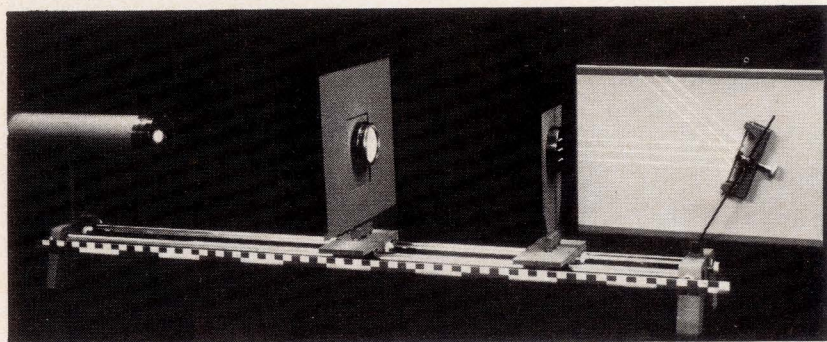


Ajústese primero el espejo, de manera tal que la luz se refleje sobre sí misma, en la ranura. Luego, gíreselo casi 90 grados sobre el eje vertical, para que la luz reflejada llegue a la pantalla.

La imagen reflejada de la ranura se encuentra en línea con la imagen directa.

REFLEXION EN UN ESPEJO PLANO – TRES RAYOS

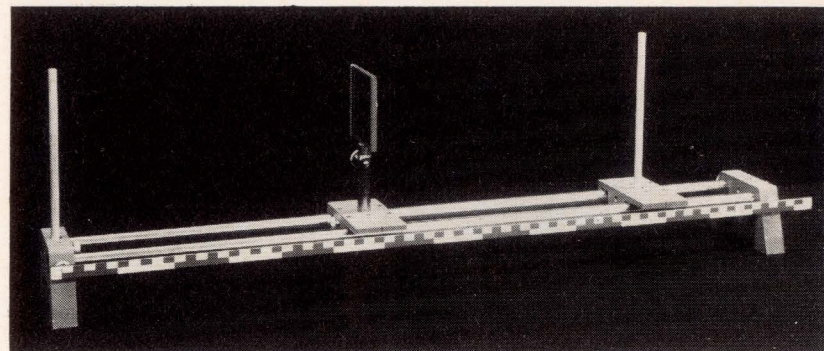
Aparatos	Posición
Lámpara	8
Diafragma de iris en el tubo de la lámpara	11
Cursor con	
• Porta-lente. En el porta	
Lente + 30 y	38
Pantalla con abertura	
Cursor con	
Soporte para placa de 5×5 cm. En el soporte	
Filtro de tres colores (opcional) y	60
Obturador tri-ranurado	
Pantalla con papel blanco y	
Espejo ajustable (Plano)	73
Lente + 15 (b)	
Lente – 10 (c)	



- La lente + 30 en la posición dada produce un haz de rayos paralelos. Si se desea rayos de colores, el filtro de tres colores puede ser colocado en el soporte para placa de 5×5 . Los rayos permanecen paralelos luego de reflejados.
- Colóquese la lente + 15 frente a (v.g. debajo) del obturador tri-ranurado. El haz de rayos es ahora convergente, y permanece convergente después de la reflexión.
- Reemplácese la lente + 15 en b) por la lente – 10. El haz de rayos es ahora divergente, y permanece divergente después de la reflexión.

POSICION DE LA IMAGEN FORMADA POR UN ESPEJO PLANO

Aparatos	Posición
Varilla redonda A	0
Cursor con	
Porta espejo rotativo. En el porta	c 30
Espejo plano	
Cursor con	
Varilla redonda B	c 60

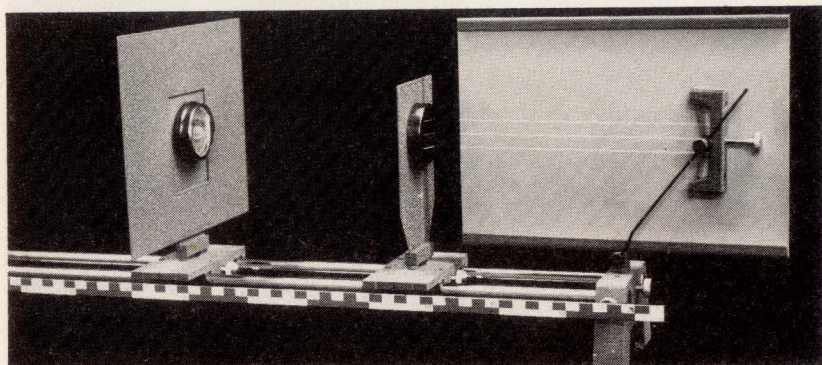


El espejo, de frente a la varilla A ("el objeto"), debe estar exactamente en ángulo recto con respecto al banco. Una imagen de la varilla es vista en el espejo.

- Desplácese la varilla B a lo largo del banco hasta que ésta y la imagen de la varilla A en el espejo se superpongan, aún cuando la visual sea desplazada hacia un lado. Mídanse las distancias de A y B al espejo. Repítase el experimento con distancias diferentes desde A al espejo. La imagen parece siempre estar a la misma distancia detrás del espejo, tanto como el objeto que está al frente.
- Retírese la varilla B. Obsérvese la imagen de A mientras se gira el espejo sobre su eje vertical. La imagen se desplaza. Trácese una visual que pase por la varilla y uno de los lados verticales del espejo, y gírese el espejo hasta que la imagen de la varilla se encuentre en esa visual. Se encontrará que la normal al espejo a través del lado en cuestión pasa entonces a través de A. La imagen descansa sobre la misma normal al espejo como el objeto.

REFLEXION DE ESPEJOS CONCAVOS Y CONVEXOS

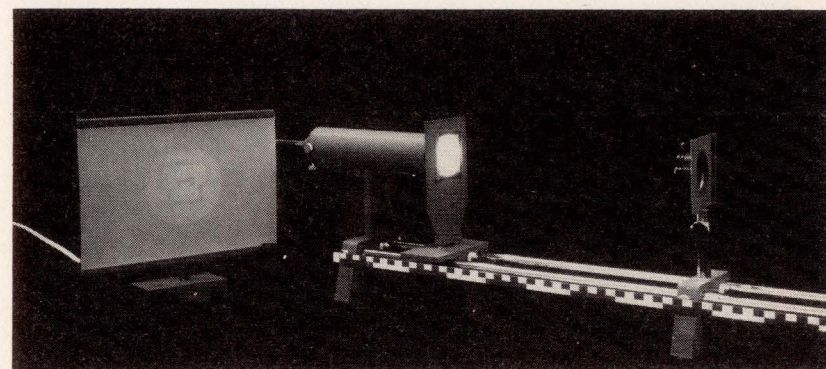
Aparatos	Posición
Lámpara	8
Diafragma de iris en el tubo de la lámpara	11
Cursor con	
Porta-lente. En el porta	
Lente + 30 y	
Pantalla con abertura	
Cursor con	
Soporte para placa de 5×5 . En el soporte	
Filtro de tres colores y	
Obturador tri-ranurado (ranuras horizontales)	60
Pantalla con papel blanco y	
Espejo ajustable (plano)	73



- Colóquese el espejo en ángulo recto a los rayos incidentes, y luego hágaselo cóncavo. Los rayos reflejados se cortan en un punto.
- Retírese el obturador tri-ranurado y el filtro. Colóquese el diafragma de iris sobre el lente, y bloquéense los rayos marginales. El eje óptico del espejo debe coincidir con el centro de haz incidente. El haz coincide en un punto (el foco).
- Abrase el iris para permitir el paso de los rayos marginales. El haz ya no coincide con el foco.
- Bloquéense los rayos marginales. Gírese el espejo de tal manera que el haz incidente no se encuentre ya paralelo al eje óptico del espejo. El haz ya no coincide con el foco.
- Vuélvase al dispositivo usado en a). Hágase el espejo convexo. Los rayos reflejados divergen.

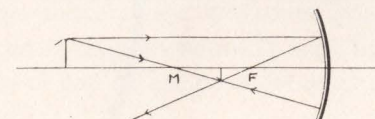
IMAGENES FORMADAS POR ESPEJOS CONCAVOS Y CONVEXOS

Aparatos	Posición
Lámpara	8
Cursor con	
Soporte para placa de 5×5 . En el soporte	
Placa de vidrio esmerilado, modelado	11
Espejo cóncavo en	
Diafragma de iris montado en	c 40
Porta-espejo rotativo	
Cursor con	
Pantalla	al lado del banco

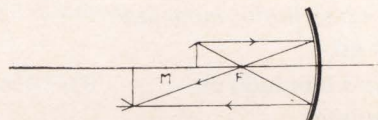


La placa de vidrio esmerilado es el objeto. Fíjese el espejo en el soporte colocándolo en el diafragma de iris con su lado cóncavo de cara al objeto. Bloquéense los rayos marginales por medio del iris (1 cm de diámetro).

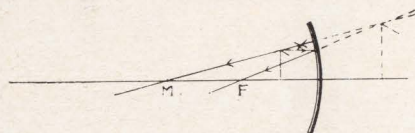
- Colóquese la pantalla cerca del banco y en ángulo recto con respecto al mismo, entre la placa de vidrio esmerilado y el espejo. Gírese el espejo de modo que la luz se refleje sobre la pantalla. Desplácese la pantalla en dirección al banco hasta que se obtenga una imagen nítida de la placa modelada. La imagen es real, menor e invertida.



- b) Retírese la pantalla, y móntese el espejo sobre el cursor que queda ahora disponible. Dispóngase el banco de manera tal, que la lámpara quede unos metros por delante de una pared clara. Muévase el espejo a lo largo del banco hasta que en la pared se obtenga una nítida imagen de la placa modelada. La imagen es real, e mayor invertida.

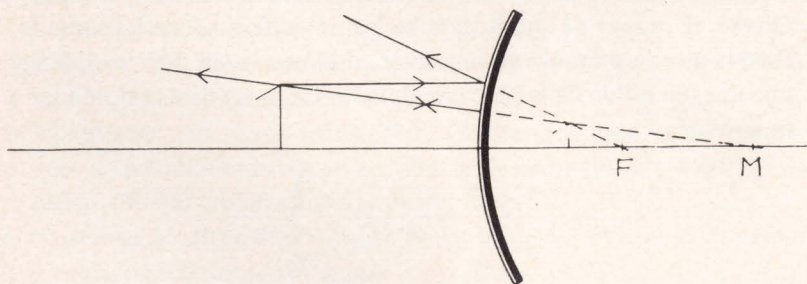


- c) Si se acerca demasiado el espejo al objeto (de manera que el objeto esté entre el espejo y el foco), no se obtendrá ninguna imagen del objeto sobre la pantalla o la pared, cualquiera que sea su posición. La imagen en este caso es virtual, mayor y real Cf. con un espejo para afeitarse.



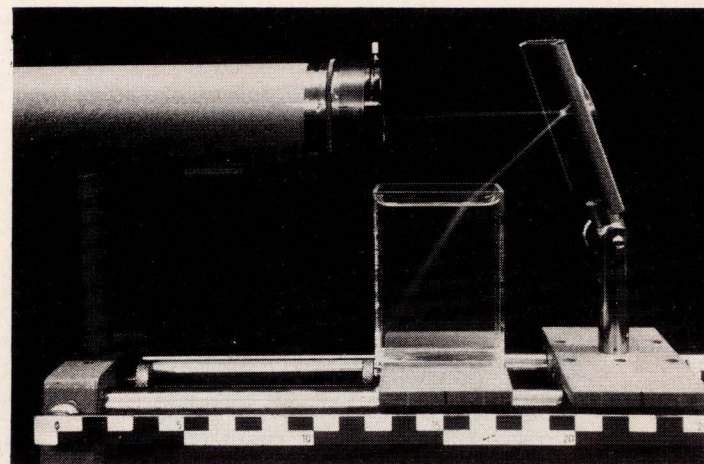
- d) Gírese el espejo, de manera que el lado convexo sea el reflector. Una mancha de luz es obtenida en la pared, pero no una imagen, cualquiera que sea la posición del espejo.

Los rayos de luz deben converger con el fin de formar una imagen real. Pero siempre es posible ver una imagen del objeto en el espejo. El espejo convexo produce una imagen virtual del objeto real. La imagen es menor y real Cf. con un espejo retrovisor.



REFRACCION DE LA LUZ AL PASAR DEL AIRE AL AGUA

Aparatos	Posición
Lámpara	6
Lente + 5 en el tubo de la lámpara	11
Diafragma de iris en el tubo	12
Cursor con	
Recipiente rectangular lleno de agua	15
Cursor con	
Porta-espejo rotativo. En el soporte	20
Espejo plano	
Eosina	



- a) Inclínese el espejo 45° en dirección a la lámpara, de manera que el haz de luz sea reflejado verticalmente a la superficie del líquido (ángulo de incidencia a la superficie del agua = 0°). Visualícese el haz en el aire, por medio del humo, y en el agua con la eosina. Usese el iris para obtener un haz de anchura adecuada. El haz no es refractado.
- b) Gírese el espejo sobre su eje horizontal para que el haz de luz incida en diferentes ángulos sobre la superficie del agua. (Usese humo). Cuando el haz de luz pasa del agua al aire es refractado hacia la normal.

REFRACCION DE LA LUZ AL PASAR DEL AGUA AL AIRE. REFLEXION TOTAL

Aparatos

Lámpara

Lente + en el tubo de la lámpara

Diafragma de iris en la lente

Cursor con

2 porta-lentes

Cursor con

Porta-espejo rotativo. En el porta

Espejo plano

Recipiente rectangular, conteniendo agua y eosina, Está colocado sobre el porta lente, (acaso apoyado sobre un cursor como en la foto)

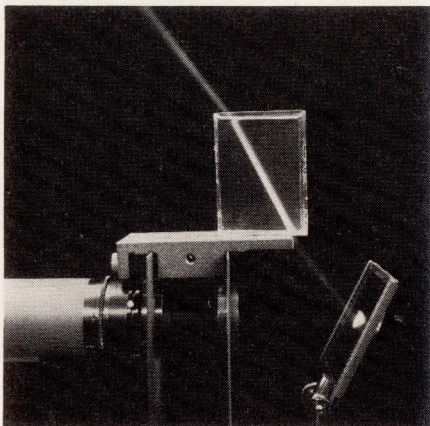
Posición

6

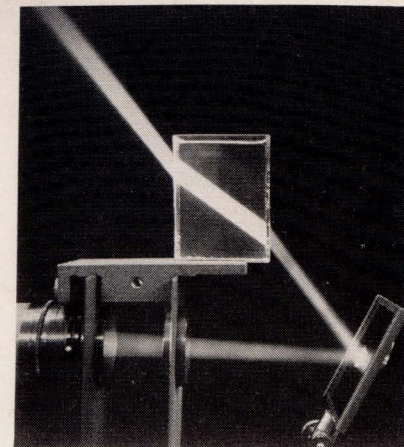
11

12

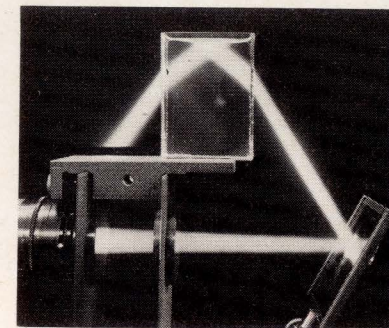
c 15



- a) Inclínese el espejo 30° en dirección opuesta a la lámpara. El haz es entonces reflejado hacia la base del recipiente rectangular y deja el líquido en la superficie libre. Usese humo. El haz es refractado *alejándose de la normal*.



- b) Aléjese apenas el espejo del recipiente, de manera que el haz atraviese las paredes verticales del mismo. El haz *emerge paralelo a la dirección inicial, pero hacia un lado*.

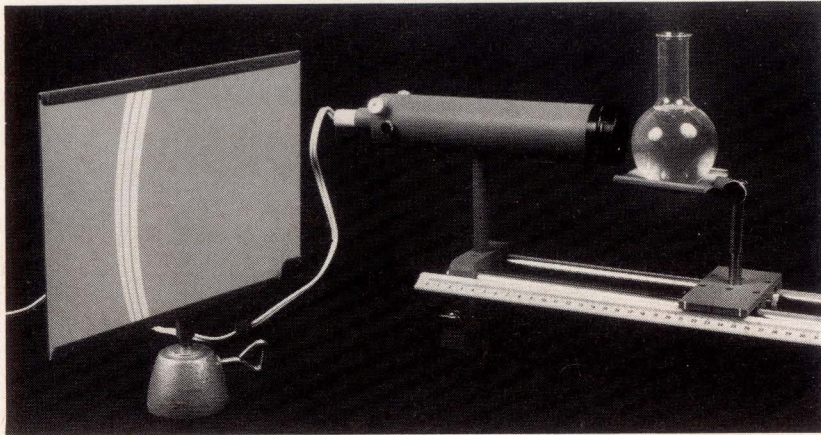


- c) Aléjese un poco más el espejo del recipiente, de modo que el haz incida sobre la superficie libre del agua, desde abajo. El haz *es reflejado totalmente*.

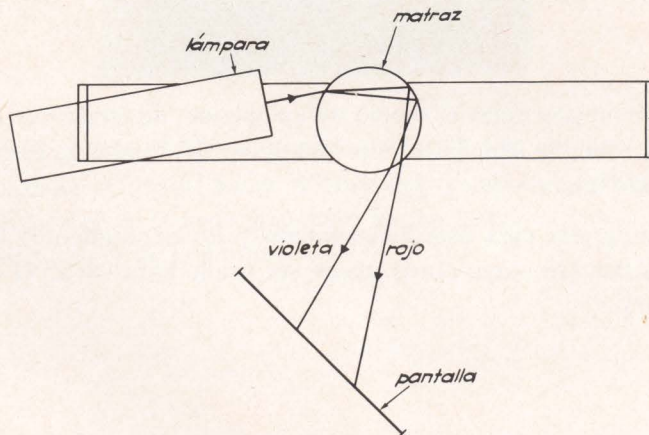
(La fotografía para éste experimento y los experimentos precedentes ilustran como el iris puede ser usado para variar el ancho del haz).

EL ARCO IRIS

Aparatos	Posición
Lámpara	8
Lente + en el tubo de la lámpara	11
Obturador uni-ranurado en la lente	11
Cursor con	
Porta espejo rotativo. En el porta	
Matraz (250-500 ml) conteniendo	
Eosina, agua	

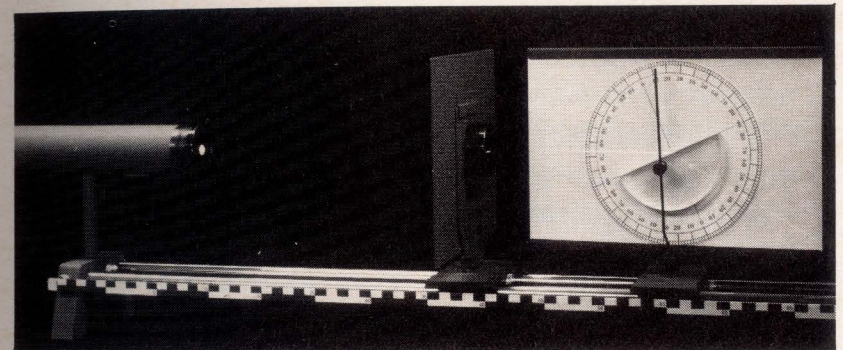


Colóquese el matraz sobre el porta-espejo, inmediatamente frente a la ranura. El haz de luz encuentra el matraz como se muestra abajo en la figura.



REFRACCION DE LA LUZ AL PASAR DEL VIDRIO AL AIRE. EL ANGULO LIMITE

Aparatos	Posición
Lámpara	8
Diafragma de iris en el tubo de la lámpara	11
Cursor con	
Porta-lente. En el porta	
Lente + 30. En la lente	38
Obturador uni-ranurado con la ranura horizontal, y	
Pantalla con abertura	
Cursor con	
Pantalla y	
Escala angular rotativa. Montada en ella	
Placa de vidrio semicircular	



Colóquese la pantalla casi paralela con el banco, de manera que el rayo de la ranura atraviese la pantalla de borde a borde. El diafragma de iris se usa para reducir el haz.

- Permítase al rayo que incida sobre la cara plana de la lámina, en su punto medio y perpendicular a ella. (La superficie plana vertical). El rayo atraviese la lámina sin desviarse.
- Gírese apenas la escala angular y la lámina de vidrio, de manera que el rayo incida formando un ángulo agudo con respecto a la normal. El rayo está ahora dividido en dos partes en la superficie plana: una parte es *reflejada*, la otra parte penetra en el vidrio

y es *refractada* en la superficie plana. Este rayo refractado no es sometido a una nueva refracción en la superficie curva cuando abandona el vidrio, porque ha recorrido una dirección radial, y por lo tanto es normal a la superficie de emergencia. El ángulo de incidencia y el ángulo de refracción pueden ser leídos en la escala angular.

Cuando un rayo de luz pasa del aire al vidrio es refractado *hacia la normal*. El ángulo de refracción es menor que el ángulo de incidencia.

- c) Gírese la escala angular y la lámina de vidrio de modo tal que el rayo incida sobre la superficie curva de la lámina.

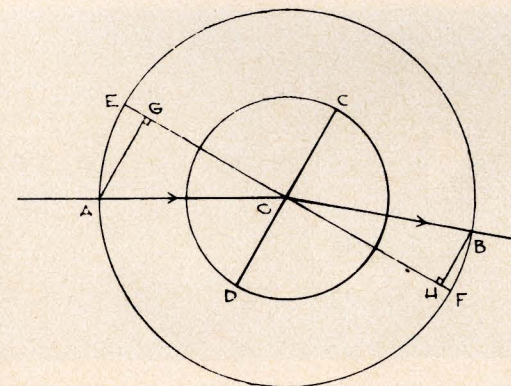
Cuando la superficie plana de la lámina se encuentra en posición vertical, los rayos pasan en línea recta a través de la lámina. Cf. a).

- d) Gírese apenas la escala y la lámina. El rayo pasa en línea recta a través de la superficie curvada, radialmente hacia el centro de la superficie plana, donde es refractado. Nótese los ángulos de incidencia y de refracción. Cuando un rayo de luz pasa del vidrio al aire es refractado *alejándose de la normal*. El ángulo de refracción es mayor que el ángulo de incidencia.

- e) En el experimento d) puede observarse que el rayo incidente sobre la superficie plana es dividido en una parte reflejada y otra refractada (Cf.b). Si se gira la lámina hasta que el ángulo de incidencia en la superficie plana sea de alrededor de 42° se hallará que el rayo refractado desaparece súbitamente, mientras que al mismo tiempo el rayo reflejado se hace más intenso. Se produce la *reflexión interna total*. El menor ángulo de incidencia en el cual se produce la reflexión interna total, se llama *ángulo límite*. Para experimentos con ángulos de incidencia de alrededor de un valor de 42° puede inferirse que la reflexión interna total ocurre en un ángulo de refracción cuyo valor es 90° .

DETERMINACION DEL INDICE DE REFRACCION. METODO GRAFICO

Aparatos	Posición
Lámpara	8
Diagrama de iris en el tubo de la lámpara	11
Cursor. En el cursor	
Porta-lente con	
Lente + 30	
Obturador uni-ranurado	38
Cursor. En el cursor	
Pantalla con	
Papel blanco y	
Placa de vidrio semicircular	55



El dispositivo experimental es como se muestra en la fotografía para el experimento precedente, pero sin la escala angular.

Dibújese sobre el papel dos círculos concéntricos de 45 y 80 mm de radio, de modo tal que el centro esté en el paso del rayo de luz. Colóquese la lámina semicircular sobre el papel como se indica en el diagrama. Márquese por medio de puntos la superficie plana de la lámina en el círculo interno, y las direcciones del rayo por las intersecciones con el círculo exterior. Una vez retirada la lámina, dibújese el paso AOB del rayo de luz, el diámetro de la lámina circular CD, y la normal EOF. Mídase la distancia AG de A a EO, y la distancia BH desde B a OF.

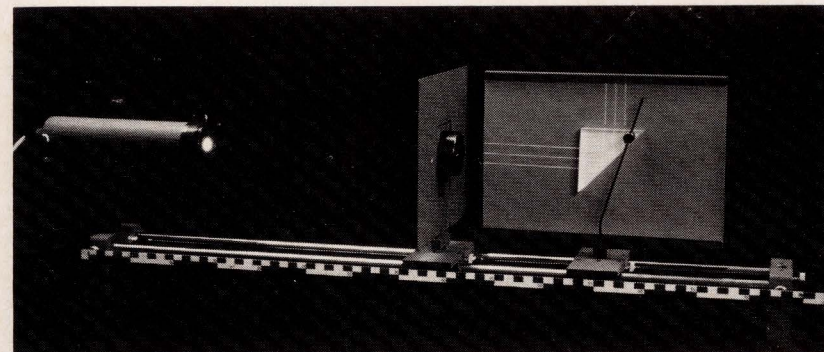
Calcúlese $\frac{AG}{BH}$. Repítase el experimento con diferentes ángulos de

La relación $\frac{AG}{BH}$ es constante, y se denomina índice de refracción.

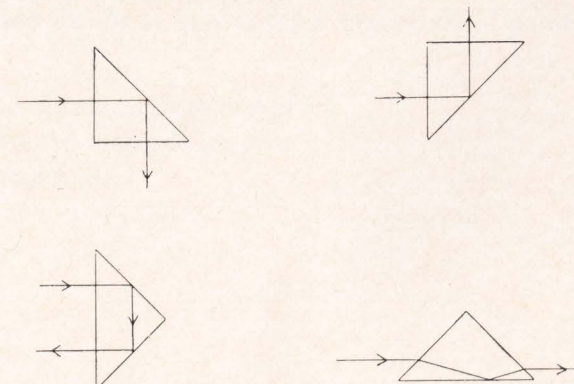
(Si todos los *puntos* de un experimento son marcados en un color determinado, pueden superponerse varios experimentos en un mismo papel).

REFLEXION TOTAL INTERNA EN PRISMAS

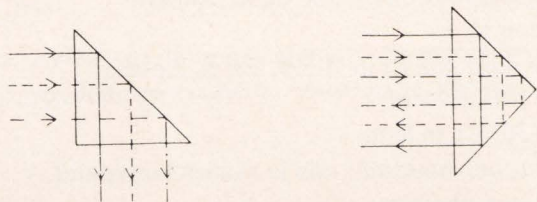
Aparatos	Posición
Lámpara	8
Diafragma de iris en el tubo de la lámpara	11
Cursor con	
Soportes para placas de 5×5 . En el soporte	
Filtre de tres colores y	
Lente + 30. En la lente	
Obturador uni-ranurado con la ranura horizontal, y	38
Pantalla con abertura	
Cursor con	
Pantalla y	
Prisma (45°, 45°, 90°)	55
Obturador tri-ranurado (b)	



a) El prisma debe disponerse como en los siguientes diagramas:



- b) Repítase el experimento con el obturador tri-ranurado en lugar del uni-ranurado.

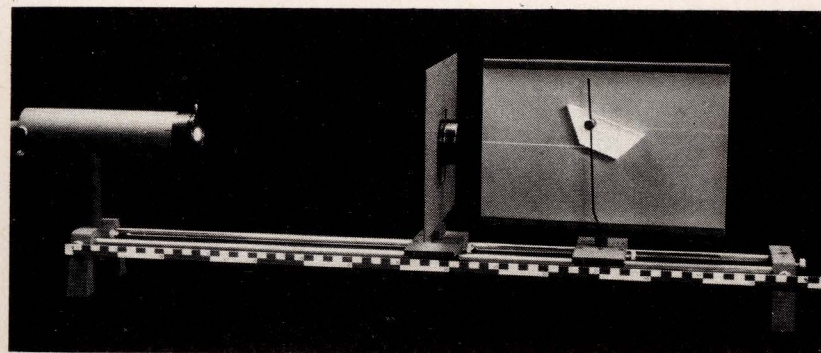


Bloquéese uno de los rayos exteriores, y déjese que los otros dos choquen la mitad inferior de uno de los lados menores del prisma.

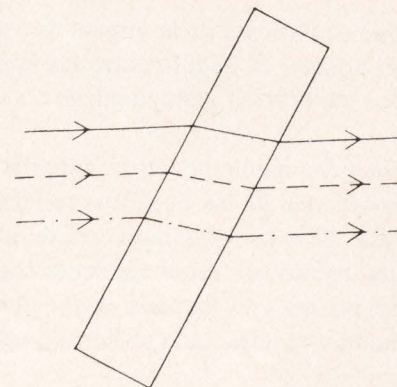


REFRACCION POR UNA PLACA DE VIDRIO DE CARAS PARALELAS

Aparatos	Posición
Lámpara	8
Diafragma de iris en el tubo de la lámpara	11
Cursor con	
Soporte para placas de 5×5 . En el soporte	
Filtro de tres colores y	
Lente + 30. En la lente	
Obturador uni-ranurado con la ranura horizontal y	38
Pantalla con abertura	
Cursor con	
Pantalla y	
Placa de vidrio trapezoidal	55
Obturador tri-ranurado (b)	

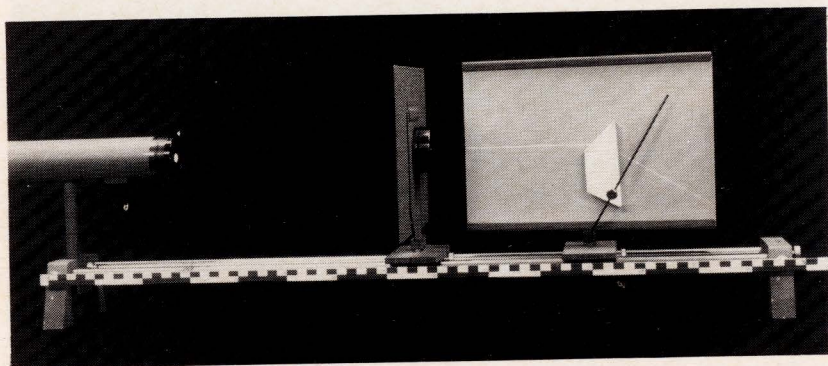


- a) Un rayo que atraviesa una placa de vidrio de caras paralelas es refractado de modo que el rayo emergente es paralelo al incidente.
- b) Repítase el experimento con el obturador tri-ranurado en vez del uni-ranurado.



REFRACCION POR UN PRISMA. ANGULO DE REFRACCION ARISTA DE REFRACCION

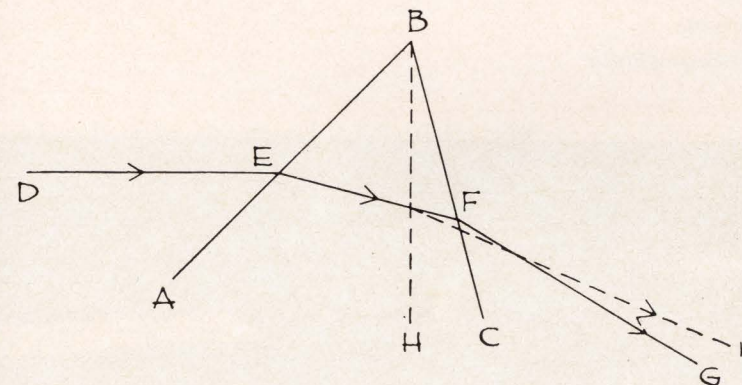
Aparatos	Posición
Lámpara	8
Diafragma de iris en el tubo de la lámpara	11
Cursor con	
Porta lente. En el porta	
Lente + 30. En la lente	38
Obturador uni-ranurado. (horizontal)	
Cursor con	
Pantalla y	
Placa de vidrio trapezoidal	55



Dos superficies de la lámina de vidrio que no sean paralelas, forman un prisma. El ángulo entre las superficies es el ángulo de refracción. Las superficies se encuentran en una *arista de refracción*.

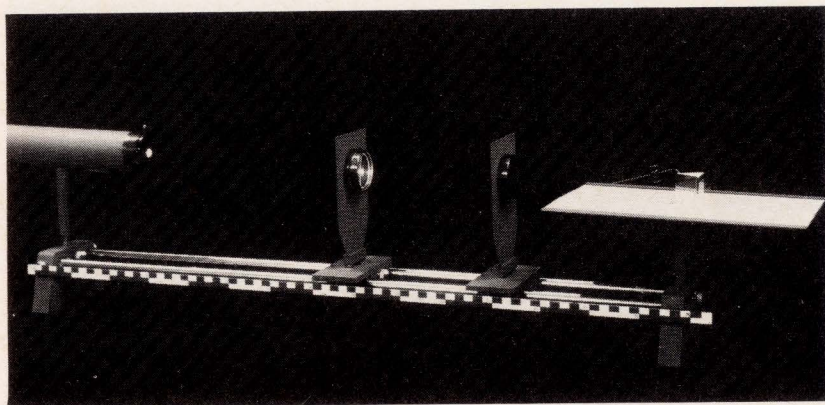
Un rayo incidente en la superficie de un prisma se divide en dos rayos, uno de los cuales es reflejado y el otro refractado en la superficie. El rayo refractado está dividido a su vez en un rayo reflejado y uno refractado en la siguiente superficie. El rayo refractado emerge del prisma y es llamado *rayo emergente*. El ángulo entre el rayo incidente y el refractado se llama *ángulo de desviación*.

- Dispóngase la lámina de vidrio como se muestra en la fotografía y en el diagrama. Márquese el rayo incidente sobre el prisma como DE. Désígnese las superficies del prisma como ABC. Márquese los puntos D, E, F, y G. Retírese la placa, y dibújese el paso del rayo (DEFG).
- Gírese la lámina de vidrio de modo que el ángulo de refracción tome la posición ABH. Márquense puntos y líneas como antes. El rayo emergente pasa a través de K. *La desviación varía con el ángulo de refracción.*
- Repítase el experimento con ángulos de incidencia *diferentes*, pero con el *mismo* ángulo de refracción. *La desviación varía según el ángulo de incidencia.*



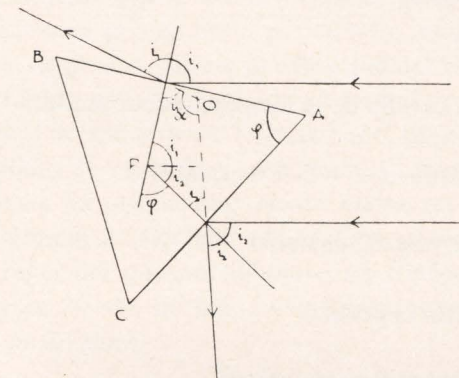
DETERMINACION DEL ANGULO DE REFRACCION DE UN PRISMA

Aparatos	Posición
Lámpara	0
Diafragma de iris en el tubo de la lámpara	11
Cursor con	
Porta-lente. En el porta	
Lente + 30	30
Cursor con	
Porta-lente. En el porta	
Obturador tri-ranurado (ranuras verticales)	55
Mesa de prisma. En la mesa	73
Pantalla (horizontal) y	
Prisma	
Transportador	



La lente + 30 debe dar rayos paralelos. Redúzcase el haz por medio del iris. Cúbrase la ranura media con cartón negro, y mirando los rayos a algunos metros de las ranuras, compruébese que ellos son paralelos. Levántese la mesa del prisma lo bastante como para que los dos rayos sean visible sobre la pantalla. Colóquese el prisma con su ángulo de refracción hacia los rayos incidentes, de manera que un rayo choque con cada superficie de refracción. Los rayos reflejados desde estas superficies son visibles sobre la pantalla, y su trayectoria puede ser marcada con un lápiz. Retírese el prisma y médase el ángulo

α (Véase la fig.) entre los rayos reflejados. Este ángulo es el doble que el de refracción del prisma. Repítase el experimento varias veces con los rayos incidentes iniciados en cada caso, en diferentes puntos.



A es la arista de refracción del prisma ABC

El ángulo BAC ($= \varphi$) es el ángulo de refracción.

Prolónguense los rayos reflejados hasta el O.

A través de P, el punto de intersección de las normales, trácese una línea paralela a los rayos incidentes. Se encuentran las siguientes relaciones:

$$\alpha = 360^\circ - 2(i_1 + i_2)$$

$$i_1 + i_2 = 180^\circ - \varphi$$

De las cuales deducimos $\alpha = 2\varphi$

DETERMINACION DEL ANGULO DE MINIMA DESVIACION. EL INDICE DE REFRACCION DEL VIDRIO

Aparatos

Banco óptico

Lámpara

Lente + 5 en el tubo de la lámpara (condensador)

Cursor con

Soporte para placas 5 × 5. En el soporte

Filtro rojo y

Obturador de ranura ajustable

c 45

Cursor con

Porta-lente. En el porta

Lente + 15

c 15

Escala angular y mesa de prisma.

123

Hilo anudado al eje de la mesa de prisma

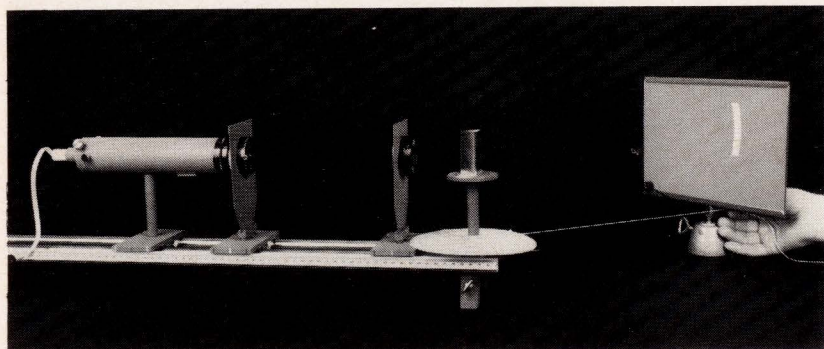
73

En esta

Prisma de cristal macizo o hueco con agua

Pantalla sobre pie a 50 cm de la mesa de prisma

Posición



La lámpara debe estar tan cerca como sea posible a la ranura, de manera que esta última esté fuertemente iluminada. Retirando el prisma, se obtiene primero en la pantalla, una nítida imagen de la ranura.

Gírese la extensión del banco aproximadamente a 40°, y colóquese el prisma sobre su mesa, en posición tal que se obtenga sobre la pantalla

una imagen de la ranura. La alteración por reflexión de la base del prisma puede evitarse colocando en ella un trozo de cartón negro con una abertura de 2,5 × 2,5 cm inmediatamente frente al prisma para obtener la definición del haz incidente. La ocurrencia de una posición de mínima desviación puede ser demostrada girando lentamente el prisma. Colóquese el prisma en la posición de mínima desviación y trábese la mesa de prisma. Gírese la extensión del banco hasta que la imagen de la ranura esté nuevamente en la posición primaria. Márquese la posición del banco en la hoja de papel situada por debajo del mismo, por medio de un lápiz y un cursor. El ángulo entre las dos partes del banco (la desviación) puede ahora ser medida con un transportador común o calculada con una aproximación de 0,50 por medio de la regla del coseno (dibújese un triángulo completo de aproximadamente 30 cm de lado, y mídanse estos lados con una aproximación de 0,5 mm).

El índice de refracción del vidrio

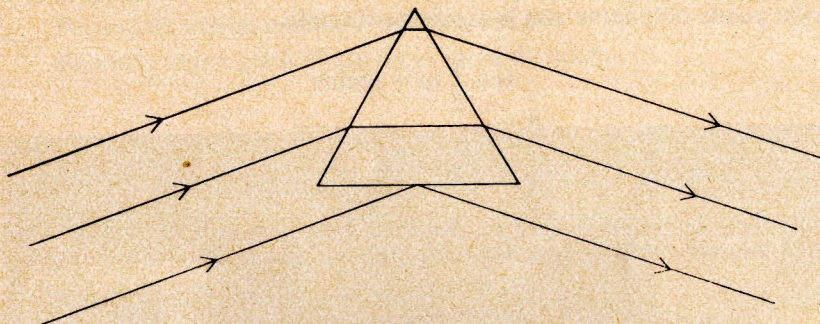
Si se conoce el ángulo φ de refracción del prisma, el índice de refracción puede obtenerse con la siguiente fórmula

$$n = \frac{\sin \frac{1}{2} (\varphi + \varphi_{\min})}{\sin \frac{1}{2} \varphi}$$

El índice de refracción de los líquidos puede obtenerse también con este método, usando un prisma hueco.

LA SIMETRIA DE UN HAZ DE LUZ CUANDO LA DESVIACION ES MINIMA

Aparatos	Posición
Lámpara	0
Diafragma de iris en el tubo de la lámpara	11
Cursor con	
Soporte para placas de 5×5 . En el soporte	
Filtro rojo y	
Pantalla con abertura y	
Lente + 30	30
Cusor con	
Porta-lente. En el porta	
Obturador tri-ranurado (ranuras verticales)	55
Banco de prisma. En el banco	73
Pantalla (horizontal) y	
Prisma	

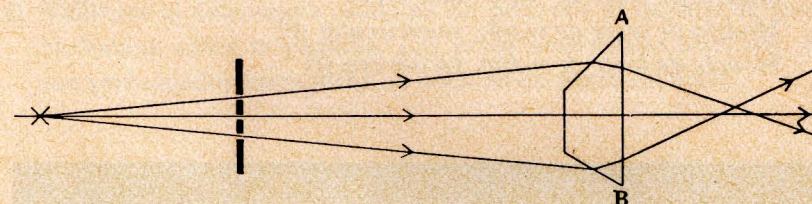


La lente + 30 produce rayos paralelos. (Compruébese esto retirando el prisma y el filtro y examinando la separación entre los tres rayos a una distancia de algunos metros). Dos de los rayos, atraviesan el prisma por un lado, mientras que el tercero lo hace por la base (ver figura). Gírese el prisma a la posición de mínima desviación.

Los rayos que pasan a través del prisma, emergen paralelos al rayo reflejado por la base del prisma, y los pasos de los tres rayos son simétricos al borde de refracción. Si se desea, puede marcarse el paso sobre la pantalla. (Para hacer esto, el banco de prisma debe elevarse un poco, o puede colocarse una delgada pieza de material entre el banco y la pantalla).

LA REFRACCION DE TRES RAYOS EN UN DOBLE PRISMA

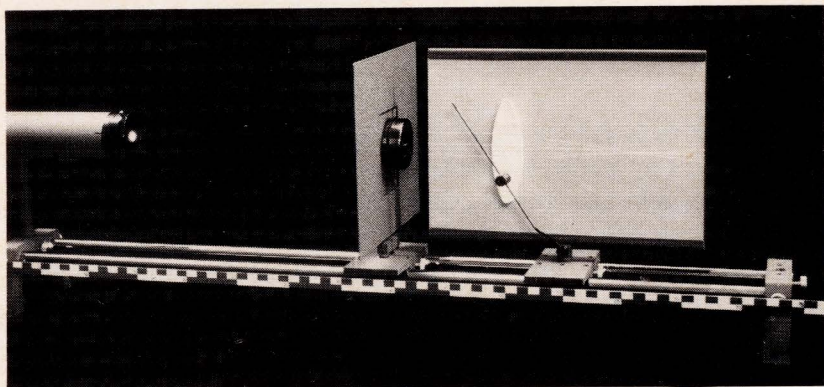
Aparatos	Posición
Lámpara	8
Diafragma de iris en el tubo de la lámpara	11
Cursor con	
Porta-lente. En el porta	
Obturador tri-ranurado	20
Cursor con	
Pantalla y	
Lámina de vidrio trapezoidal	40



El vidrio trapezoidal puede ser considerado como dos prismas con sus bases yuxtapuestas, a cada lado de una placa de lados paralelos. Los prismas tienen las aristas de refracción A y B. Los rayos superiores e inferiores son refractados *hacia afuera* de las aristas de refracción respectivas, de modo que los tres rayos incidentes divergentes, convergen después de pasar a través de la placa de vidrio.

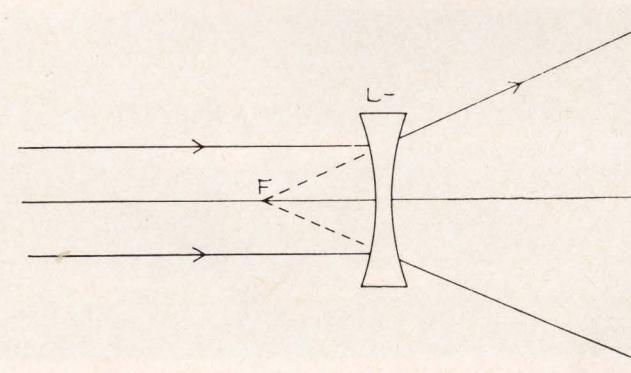
REFRACCION POR LENTES (MODELOS)

Aparatos	Posición
Lámpara	8
Diafragma de iris el tubo de la lámpara	11
Cursor con	
Soporte para placas de 5×5 . En el soporte	
Filtro de tres colores y	
Lente + 30, junto con	38
Obturador tri-ranurado en la lente y	
Pantalla con abertura	
Cursor con	
Pantalla y	
Modelo de lente de vidrio, biconvexo	45
Modelo de lente de vidrio, semicircular (b)	
Modelo de lente de vidrio, bicóncavo (f)	



- Móntese el modelo de lente biconvexa sobre la pantalla. Los rayos paralelos al eje óptico se encuentran en un punto, el foco.
- Reemplácese la lente biconvexa por una plano-convexa (De forma semicircular). Una lente gruesa produce mayor convergencia que una delgada, y por lo tanto su distancia focal es menor.
- Vuélvase al modelo de lente biconvexa. Déjese que los rayos incidentes paralelos estén inclinados con respecto al eje óptico. Ya no convergen en un punto.

- Hágase que nuevamente los rayos incidentes se ubiquen paralelos al eje óptico. Sosténgase la punta de un lápiz o cosa parecida en el foco. Acérquese hacia la lámpara la lente + 30 con su cursor. Los rayos incidentes ahora divergen. Después de atravesar la lente biconvexa aún convergen, pero en un punto a mayor distancia del foco.
- Retírese la lente + 30. Desplácese la pantalla a (30), y móntese el modelo de lente semicircular sobre la pantalla. Redúzcase el haz al diámetro de un lápiz angosto por medio del iris. *Este haz está enfocado en un punto por acción de la lente.* Luego ábrase el iris hasta que la luz incida en toda la lente. *La luz no es enfocada en un punto.*
- Vuélvase al dispositivo usado en a), pero con el modelo de lente bicóncava sobre la pantalla. *Los rayos emergentes divergen.* Si son prolongados hacia atrás, se unen en un punto (el foco).



SISTEMAS DE LENTES (MODELOS)

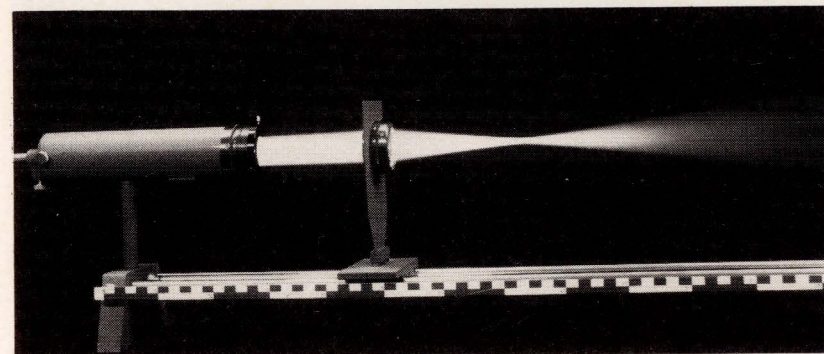
Aparatos

Los mismos que en el experimento precedente.

- Los efectos de los modelos de lentes bicóncavas y convexas se anulan al colocarse juntas.
- Si las lentes no están inmediatamente adyacentes, no se neutralizarán mutuamente.
- Las biconvexas y plano-convexas colocadas adosadas, forman un sistema convergente.

EL EFECTO DE LAS LENTES CONVERGENTES (POSITIVAS) EN UN HAZ PARALELO. EL PLANO FOCAL

Aparatos	Posición
Lámpara	6
Lente + 5 en el tubo de la lámpara	11
Diafragma de iris en la lente	12
Cursor con	
Porta lente. En el porta	
lente + 10	25
Cursor con	
Pantalla	35
Lente + 15 (b)	
Lente + 30 (b)	



En el experimento siguiente, la abertura del iris debe ser alrededor de 2 cm cuando se visualiza el haz por medio de humo, y alrededor de 0,5 cm cuando hay que obtener una nítida imagen del filamento de la lámpara en la pantalla. Si la abertura se hace demasiado pequeña se puede obtener una imagen en cualquier posición con cualquiera de las lentes (cámara de orificio puntiforme).

- La lente + 5 produce un haz paralelo (la imagen del filamento de la lámpara en el infinito), el cual es reducido a un diámetro adecuado por medio del iris. El haz puede hacerse visible en ambos lados de la lente + 10 con la ayuda de humo. La lente pro-

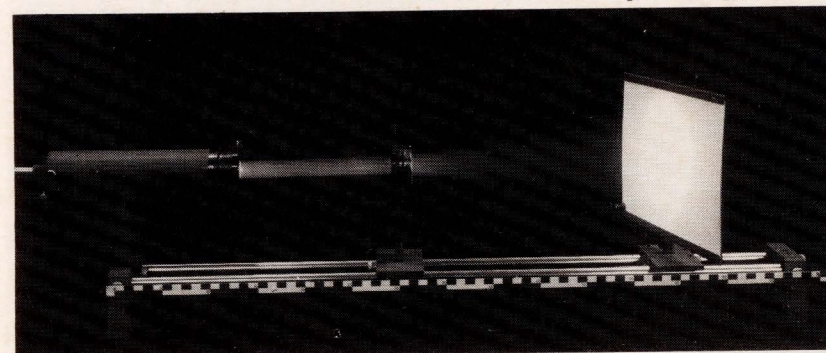
duce una nítida imagen del filamento de la lámpara en el plano focal. Esta imagen puede hacerse visible sobre una pantalla (real). Mídase la distancia entre la imagen y la lente (distancia focal). Desplácese la lente + 10 y la pantalla a lo largo del banco sin alterar la distancia entre ambos. Se encuentra que la posición de la imagen (el plano focal) no depende de la posición de la lente con respecto a la lámpara (un haz incidente paralelo corresponde a un objeto "en el infinito").

- b) Repítase el experimento con la lente + 15 en reemplazo de la lente + 10 y luego con la lente + 30.

La posición del plano focal con respecto a la lente depende de la curvatura de las superficies de la lente.

EFFECTO DE LENTES DIVERGENTES (NEGATIVAS) EN UN HAZ PARALELO. EL FOCO

<i>Aparatos</i>	<i>Posición</i>
<i>Lámpara</i>	6
<i>Lente + 5 en el tubo de la lámpara</i>	11
<i>Diafragma de iris en la lente</i>	12
<i>Cursor con</i>	
<i>Porta-lente. En el porta</i>	
<i>Lente - 10</i>	30
<i>Cursor con</i>	
<i>Pantalla</i>	
<i>Lente - 20 (b)</i>	60



- a) La lente + 5 produce un haz paralelo, que se reduce a un tamaño adecuado (2 cm) por medio del iris. Hágase visible el haz por medio de humo. El haz emergente de la lente - 10 es divergente y parece provenir de un punto delante de la lente (foco) No es posible obtener una imagen sobre la pantalla. Pero mirando por dentro de la lente puede verse una pequeñísima imagen del filamento de la lámpara.
- b) Repítase el experimento con la lente - 20 en reemplazo de la lente - 10.

La divergencia del haz emergente depende de la curvatura de las superficies de la lente.

COMBINACION DE LENTES

Aparatos	Posición
Lámpara	6
Lente + 5 en el tubo de la lámpara	11
Diafragma de iris en la lente	12
Cursor con	
Porta-lente. En el porta	
Lente + 10	25
Cursor con	
Pantalla	35
Lente + 15	
Lente - 10 (b)	
Lente - 20 (c)	
Lente + 30 (d)	

En el experimento siguiente la abertura del iris debe ser de 2 cm cuando el rayo se visualiza por medio de humo, y de 0,5 cm cuando se desea obtener en la pantalla la imagen del filamento de la lámpara.

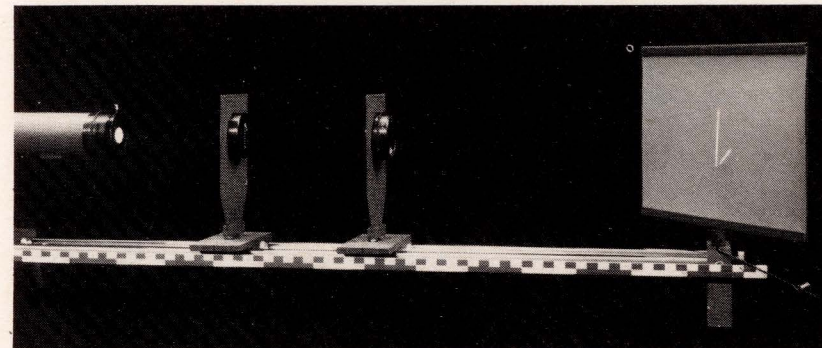
- La lente + 5 produce un haz paralelo, que enfocado por la lente + 10 forma sobre la pantalla una imagen nítida del filamento de la lámpara. (Úsese humo). Móntese la lente + 15 a continuación del + 10. El haz emergente es ahora más acentuadamente convergente, y la pantalla debe ser acercada a la lente con el objeto de obtener una imagen nítida del filamento de la lámpara. La distancia desde la lente compuesta a la pantalla es de 6 cm.
 - Combínese la lente + 10 con la lente - 10. El haz emergente es paralelo.
 - Combínese la lente + 10 con la lente - 20. Se obtiene una nítida imagen del filamento de la lámpara en la pantalla, a una distancia de 20 cm del sistema de lentes.
 - Combínese la lente + 30 con la - 20. El haz emergente es divergente.
 - Combínese la lente - 10 con la lente - 20. El haz emergente es mucho más divergente que el obtenido por cada una de las lentes.
- La fórmula

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2}$$

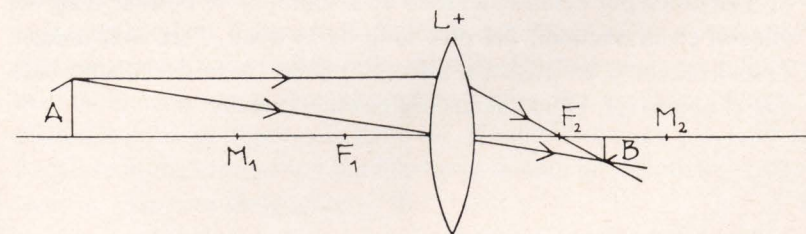
puede ser exemplificada en a), b) y c)

LA FORMACION DE IMAGENES POR LENTES POSITIVAS

Aparatos	Posición
Lámpara	8
Lente + 5 (condensador) en tubo de la lámpara	11
Diafragma de iris en la lente	
Cursor. Montado en el cursor	
Soporte para placas 5 x 5, con	
Placa de vidrio esmerilado y	Alternativamente la placa de vidrio esmerilado, modelado
Obturador con abertura en forma de 1	
Cursor con	
Porta lente. En el porta	
Lente + 10	40
Pantalla	

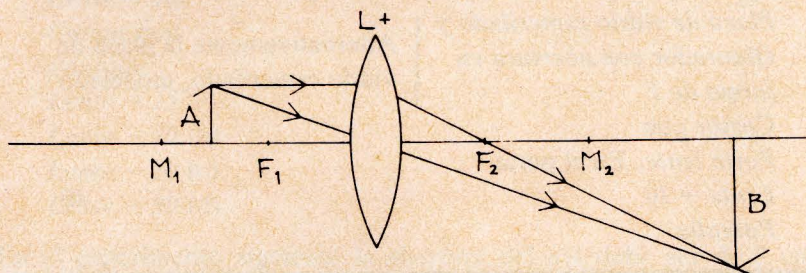


La abertura en forma de 1 (o la placa modelada) es el objeto. Si la lente + 10 está en (40), sus focos están en 30 y 50. Con el objeto cerca de la lámpara, búsquese la posición de la pantalla que dé la imagen más nítida. Desplácese el objeto a posiciones sucesivamente más alejadas de la lámpara y repítase el experimento usando el banco en toda su extensión si fuera necesario.

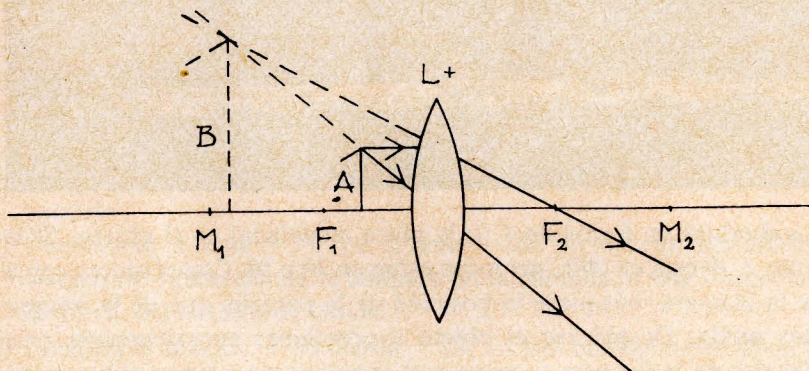


a) Si el objeto (A; véase figura) está a una distancia de la lente mayor del doble que la distancia focal (M_1), se obtiene una imagen B, menor, real e invertida del otro lado de la lente, a una distancia intermedia entre una y dos distancias focales de la lente (Principio de la cámara).

b) Si A está en M_1 , se obtiene una imagen real, invertida y del mismo tamaño, en M_2 .



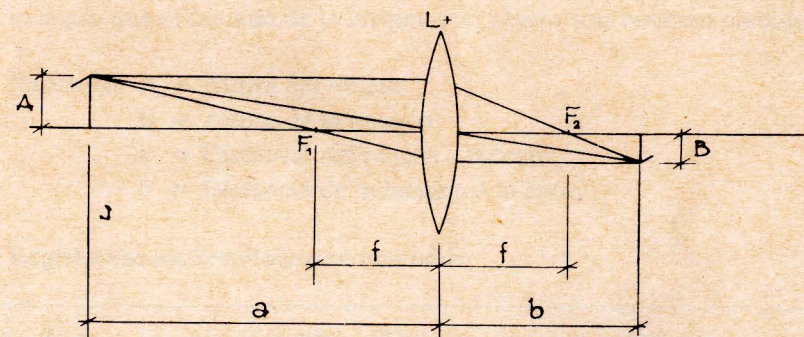
c) Si A se ubica entre M_1 y F_1 , se obtiene una imagen real, invertida y mayor, más allá de M_2 . (Principio del proyector).



d) Si A se ubica por delante del foco de la lente, no se obtiene ninguna imagen en la pantalla, del otro lado de la lente. Pero una imagen virtual mayor y en posición normal, puede verse del mismo lado que el objeto (cf. el uso de las lentes como lupas).

LA DISTANCIA DE LA IMAGEN A UNALENTE POSITIVA DEPENDE DE LA DISTANCIA DEL OBJETO A LALENTE Y DE LA DISTANCIA FOCAL

Aparatos	Posición
Banco óptico y una escala separada	
Lámpara	8
Lente + 5 (Condensador) en el tubo de la lámpara	11
Diafragma de iris en la lente	12
Cursor. Montado en el cursor	
Soporte para placas de 5×5 , con	Alternativamente placa de vidrio esmerilado, modelado
Placa de vidrio esmerilado y	
Obturador con abertura en forma de 1	
Pantalla con abertura	
Porta-lente con	
Lente + 10	74
Cursor con	
Pantalla	
Lente + 15	



La abertura en forma de uno, iluminada, es el objeto (A), y está colocada a cierta distancia de la lente. La lente produce una imagen (B) de A que se hace visible en la pantalla. Desplácese la pantalla hasta que la imagen se vuelva tan nítida como sea posible. Mídase la distancia entre el objeto y la lente (a), y entre la imagen y la lente (b). Repítase el experimento, con diferentes distancias objetivas, y con la lente + 15 en vez de la lente + 10.

LENTE		; Distancia focal = $\text{cm}; \frac{1}{f}$		
a (cm)	b (cm)	$\frac{1}{a}$	$\frac{1}{b}$	$\frac{1}{a} + \frac{1}{b}$

EL TAMAÑO DEL OBJETO Y LA IMAGEN PARA UNA LENTE POSITIVA. AMPLIACION

Aparatos	Posición
Banco óptico y escala	
Lámpara	8
Lente + 5 (Condensador) en el tubo de la lámpara	11
Diafragma de iris en la lente	12
Cursor. Montado en el cursor	
Placa de vidrio esmerilado	} alternativamente placa de vidrio con dibujos
Soporte para placa de 5×5 con	
Obturador de abertura en forma de I	
Cursor, pantalla con abertura	
Porta-lente con	
Lente + 10	74
Pié. Sobre esta pantalla cubierta con	
Papel milimetrado	
Lente + 15	

El experimento se realiza en la misma forma que el precedente, excepto que el tamaño de la imagen y el objeto son también medidos.

Símbolos: A = Altura del objeto
 B = Altura de la imagen
 a = Distancia del objeto a la lente
 b = Distancia de la imagen a la lente

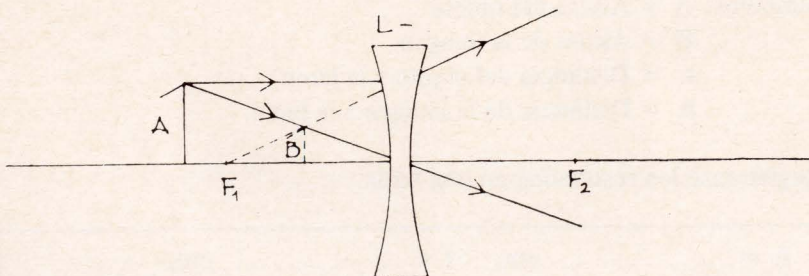
Regístrense los resultados en una tabla

A = ... cm; f = ... cm;				
a (cm)	b (cm)	B (cm)	$\frac{b}{a}$	$\frac{B}{A}$

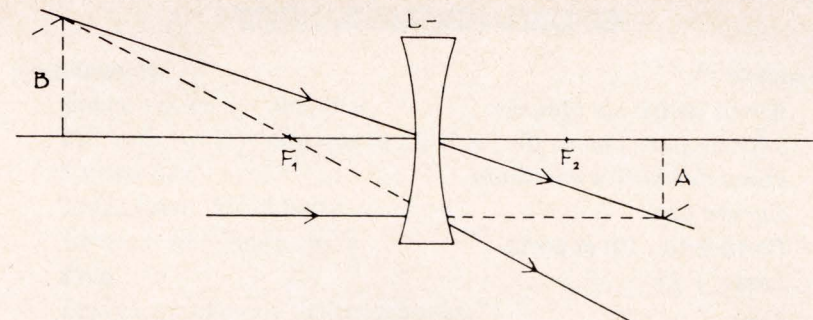
LA FORMACION DE IMAGENES POR LAS LENTES NEGATIVAS

Aparatos	Posición
Banco óptico y escala	
Lámpara	10
Lente + en el tubo de la lámpara	11
Diafragma de iris en la lente	12
Cursor con	
Soporte para placas de 5×5 . En el soporte	
Placa de vidrio esmerilado con dibujos	
Pié. Sobre este	
Porta-lente con	
Lente + 30 y pantalla con abertura	75
Pié con porta-lente giratorio. En este	
Lente - 10	
Pantalla en el cursor sobre el banco de trabajo	a 165 cm de la lámpara

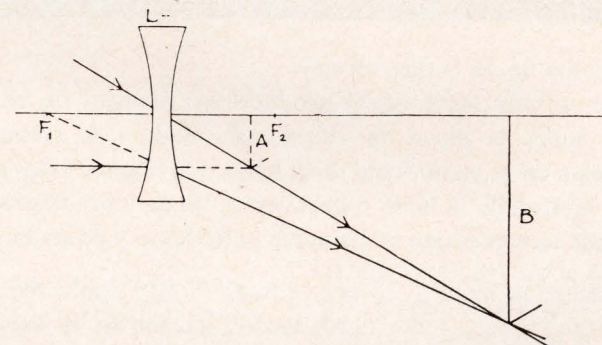
La lámpara y el condensador proveen una intensa iluminación de la placa de vidrio modelada. Por medio del iris redúzcase el campo de iluminación a los dos cuadrados interiores (abertura alrededor de 15 mm).



- a) Retírese la lente + 30. Desplácese el pié con la lente - 10 a lo largo del banco. No se obtiene una imagen real del objeto. Pero, mirando a través de la lente puede verse una imagen menor, virtual y directa del mismo lado del objeto.



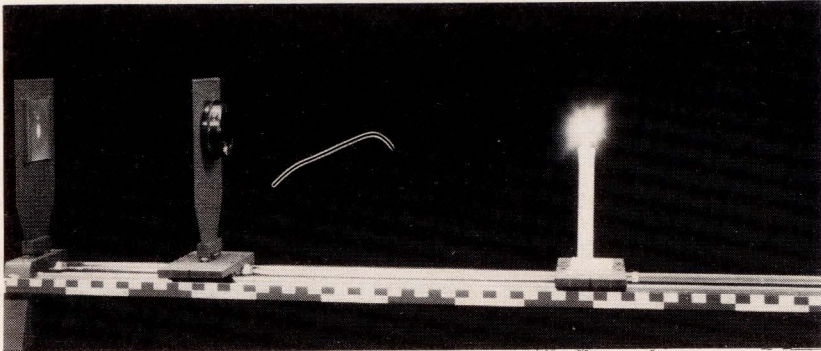
- b) Retírese la lente - 10, y colóquese la lente + 30 (106). Un ligero ajuste de la pantalla da una nítida imagen del objeto. Colóquese la lente - 10 a (140). Se obtendrá ahora una mancha de luz sobre la pantalla, siendo imposible conseguir una imagen real, aún alejando la pantalla. Pero mirando a través de la lente - 10, puede verse una imagen del objeto, mayor, virtual y (El telescopio de Galileo, con acomodación del ojo).
- c) Si la lente - 10 es trasladada a (154), la situación es como en b); excepto que la imagen está ahora en el infinito (no hay acomodación del ojo).



- d) Si la lente es alejada un poco más (por ejemplo [160]); se obtiene una imagen real, invertida y mayor de la placa, sobre la pantalla. Por lo tanto una lente negativa puede producir una imagen real de un objeto virtual. La imagen del objeto producida por la lente + 30 en (151) es el objeto virtual para la lente - 10. Por medio de este dispositivo puede verificarse la fórmula de la lente para una lente negativa y determinarse su aumento.

EL OJO. ACOMODACION

Aparatos	Posición
Banco óptico sin lámpara	
Soporte para placas de 5×5 . En el soporte	0
Placa de vidrio esmerilado	
Cursor con	
Porta lente. En el porta	
Lente + 15	c 15
Vela	
Lente + 10 (b)	



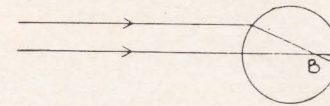
- a) La lente + ("la lente ojo") produce una imagen de un objeto distante sobre la placa de vidrio esmerilado ("la retina"). La imagen está en el plano focal de la lente. Un objeto (vela) que esté a pocos metros de la lente o más cerca, no da una imagen clara a menos que se modifique la distancia entre lente y pantalla.
- b) Reemplácese la lente + 15 por la lente + 10 ("lente ojo se hace más grueso"). Esta lente produce una imagen de la vela si esta última está a unos 25–40 cm de la lente. La imagen es nítida si la vela está a 30 cm de la lente. Cuando se mira un objeto cercano el ojo se acomoda por sí solo, la lente aumenta (la distancia focal disminuye).

MIOPIA E HIPERMETROPIA

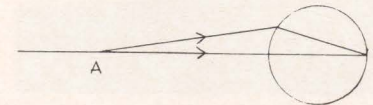
Aparatos	Posición
Banco óptico sin lámpara	
Pantalla (traslúcida)	0
Cursor con	
Porta-lente. En el porta	
Lente + 10 ("lente ojo")	
Vela	
Lentes auxiliares ("lentes anteojos")	
Lente - 20	
Lente + 30 (b)	

a) Vista corta (miopía)

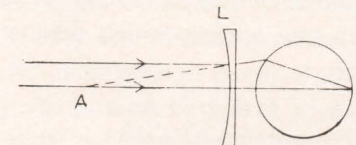
Obténgase sobre la pantalla ("retina"), una imagen de un objeto distante usando la lente + 10. La imagen está en el plano focal de la lente. Acérquese la lente a la pantalla. La imagen de un objeto distante cae *delante* de la "retina". Pero una vela en un punto lejano al "ojo", 20 cm de la lente, da una imagen nítida. Si la lente - 20 es colocada delante de la "lente ojo", un objeto distante dará una imagen nítida en la "retina".



La imagen B de un objeto distante cae *delante* de la retina.



La luz incidente debe divergir de A (el punto lejano del ojo) con el objeto de que B caiga en la retina.

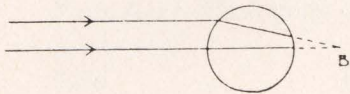


La imagen de un objeto distante cae en la retina si se coloca una lente negativa delante del ojo. El foco de la lente debe estar en A.

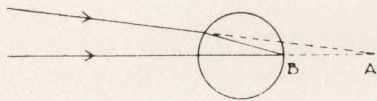
b) Vista larga (hipermetropía)

Colóquese la lente + 10, a 7,5 cm de la pantalla. La imagen de un objeto distante cae ahora por detrás de la "retina".

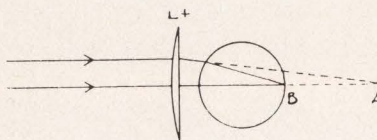
No se puede obtener una imagen de un objeto cercano. Si la lente = 30 es colocada delante de la "lente ojo" se obtiene sobre la retina una nítida imagen de un objeto distante.



La imagen B de un objeto distante cae *detrás* de la retina.



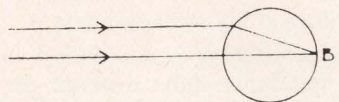
El rayo incidente debe converger hacia A (el punto *alejado* del ojo) con el objeto de que B caiga en la retina.



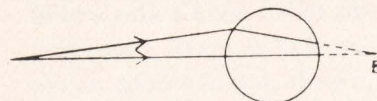
La imagen de un objeto distante cae en la retina si se coloca una lente positiva delante del ojo. El foco de la lente debe estar en A.

c) Una particular forma de visión a larga distancia (presbicia).

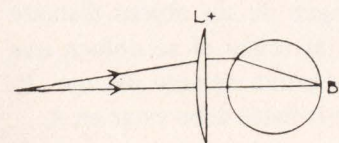
Con la edad el cristalino puede perder la capacidad de acomodación para ver objetos cercanos. El punto cercano al ojo se aleja más y más del cristalino.



Una imagen nítida de un objeto distante se forma en la retina.



Una imagen nítida de un objeto cercano se obtiene solamente si se coloca una lente positiva delante del ojo.



EL OJO Y SUS DEFECTOS DE ACOMODACIÓN

Aparatos

Banco óptico

Lámpara sobre pie

Cursor con portalentes

Cursor con mesa de prisma

Cursor con pantalla

Todas las lentes

Diafragma

Posición

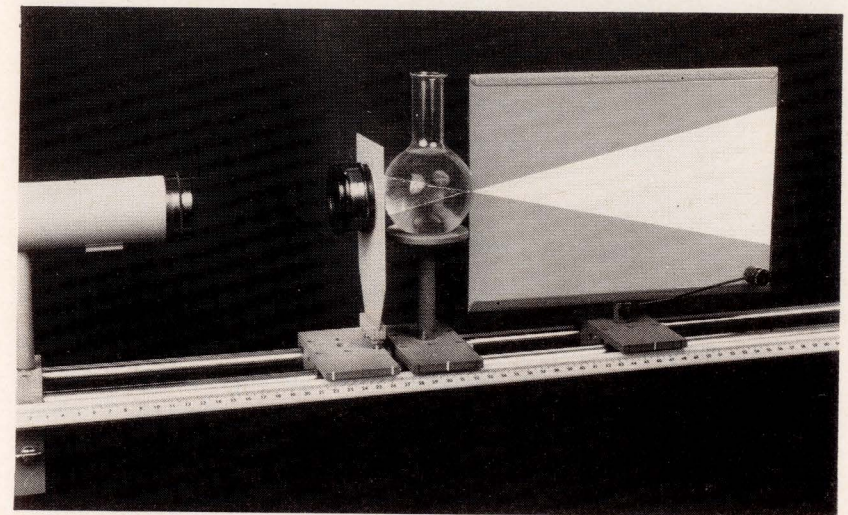
0

24

30

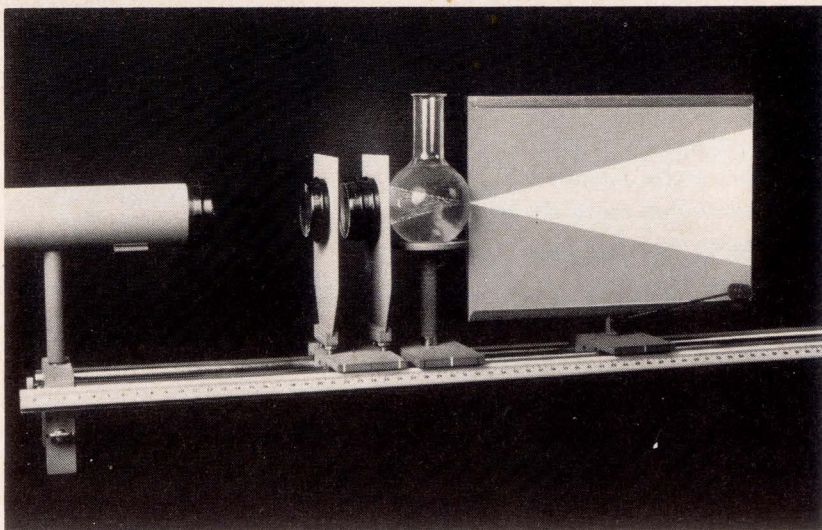
46

La lámpara se monta sobre el pie del banco, y la bujía se aleja al máximo. En el portalámparas se monta la lente + 10. Sobre la mesa de prisma se coloca un matraz con agua y unas gotas de solución de eosina supliendo al cristalino. La parte posterior del matraz hará de retina.



I Ojo normal con iris

En el cursor delante del matraz se coloca un portales con la lente + 15 y con el diafragma de la lente próximo al cilindro. Por medio del diafragma se puede demostrar el funcionamiento del iris. En la pantalla y en el matraz se puede ver como la luz converge hacia la pared posterior del matraz-retina.



II Hipermetropía

En el ojo hipermetrope el cristalino no es capaz de formar una imagen en la retina. Para ilustrarlo se sustituye la lente + 15 y el diafragma, por un sistema de lentes compuesto por las lentes + 30 y - 20. Si colocamos en el portalentes una lente + 15 próxima a la lámpara, se corrige el defecto y la luz converge de nuevo en un punto de la retina. Esta lente ejerce la misma función que los lentes (gafas) en nuestros ojos.

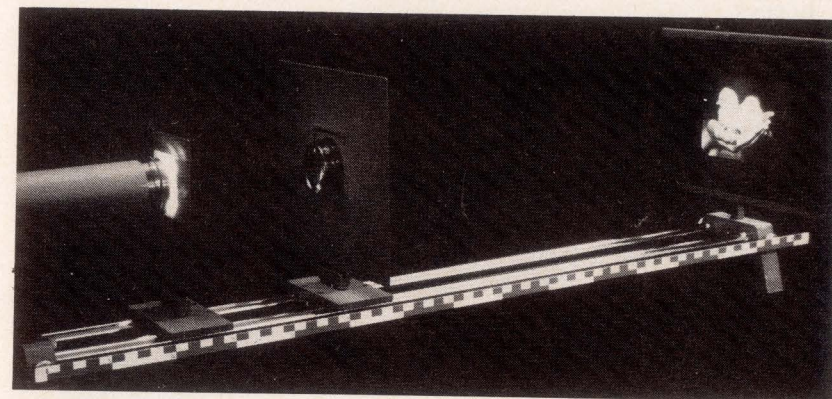
III Miopía

En el ojo miope, la imagen se forma delante de la retina. Un sistema de lentes compuesto por las lentes + 5 y - 20, suplirán al cristalino. Para corregir la miopía colocaremos una lente divergente - 10 en el portalentes delante del cristalino (lente ojo).

Anotación: Si alguno de los alumnos usa lentes se puede probar colocándolos en la misma posición que el portalentes corrector ocupa. Si el lente ojo, (cristalino) está graduado para hipermetropía o miopía, se podrá comprobar si los lentes surten efecto o no.

EL PROYECTOR (DIASCOPIO, AMPLIADORA)

Aparatos	Posición
Lámpara	
Lente + 5 en el tubo de la lámpara	11
Cursor con	
Soporte para placas de 5 × 5. En el soporte	
Diapositiva (Slide)	12
Cursor con	
Porta-lente. En el porta	
Lente + 10. (Lente de proyector) o	
Lente + 15 o lente + 30	
Pantalla con abertura	



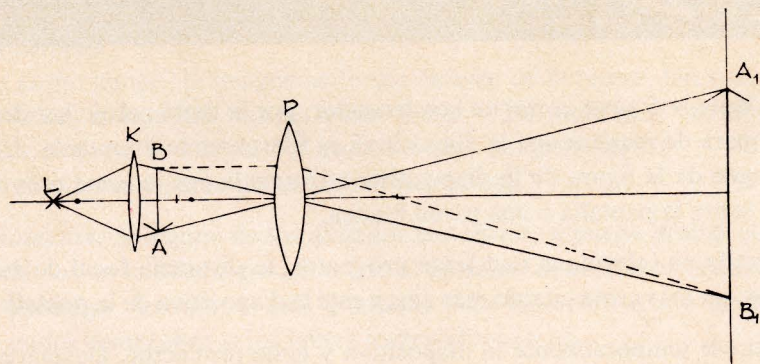
La lente + 5 sirve como un condensador, por lo tanto recoge luz de la lámpara de manera que la diapositiva es fuertemente iluminada. Una imagen de la figura de la diapositiva es formada por la lente proyector sobre la pantalla o una pared blanca.

Cuando se selecciona una lente proyector, la distancia focal de ésta debe ser más corta cuanto más cerca esté la diapositiva de la pantalla.

Retírese temporalmente la diapositiva y lente proyector. Desplácese la lámpara de manera que el condensador arroje una imagen del filamento de la lámpara a una distancia de éste, que sea algo mayor que la distancia focal de la lente proyector (úsese un trozo de papel como pantalla).

Colóquese la diapositiva inmediatamente delante del condensador. Ubíquese entonces la lente proyector justo en el lugar en que sobre el papel se formaba una clara imagen y desplácese un poco hasta que se obtenga una nítida imagen sobre la pantalla. La lámpara puede ser desplazada un poco alejándola o acercándola al condensador, de manera que todo el cuadro esté uniformemente iluminado. El condensador arroja una imagen del filamento de la lámpara sobre la lente proyector, y la lente proyector arroja una imagen de la diapositiva sobre la pantalla. La importancia del condensador se demuestra en los siguientes experimentos.

1. Acérquese la lámpara al condensador. La imagen del filamento de la lámpara está ahora entre la lente proyector y la pantalla. No toda la luz de la diapositiva atraviesa la lente proyector de modo tal que la imagen en la pantalla aparece menos iluminada en los bordes.
2. Aléjese la lámpara del condensador. La imagen del filamento de la lámpara se ubica ahora entre la diapositiva y la lente proyector. La diapositiva no está iluminada en los bordes, y ninguna imagen de esa zona se obtiene en la pantalla.
3. Ajústense las lentes para lograr una buena imagen sobre la pantalla y a continuación retírese del condensador. Los bordes de la diapositiva están solo debilmente iluminados, y no aparecen nítidos en la pantalla.



Dispositivo correcto

La imagen total $A_1 B_1$ de la diapositiva AB está uniformemente iluminada.

- L es la lámpara
- K el condensador (lente + 5)
- AB la diapositiva
- P la lente proyector
- los focos de k
- los focos de P

El dispositivo aquí descrito, proporciona un proyector practicamente útil para diapositivas de 5×5 cm, ejemplares montados, etc.

Si se desea proyectar organismos vivos (larvas de mosquito, renacuajos, etc.), cristales, etc. que deben descansar en una superficie horizontal, el banco óptico debe ser colocado verticalmente. El experimento descrito a continuación es un ejemplo de ésto y su propósito es mostrar las líneas de fuerza magnética.

Aparatos

Posición

- Sargento. Esto es usado para mantener el
- Banco en posición vertical
- Lámpara
- Lente + 5 en el tubo de la lámpara. En la lente póngase un
- Imán (de $5 \times 5 \times 25$ mm Ticonal, o similar)
- Cursor con
- Porta-lente. En el porta
- Platillo de vidrio (Caja de Petri)
- Cursor con
- Porta-lente. En el porta
- Lente + 10
- Porta-espejo rotativo con
- Espejo plano, 7×7 cm
- Polvo de hierro
- Glicerina
- Pantalla de proyección o una pared clara

a

b

c

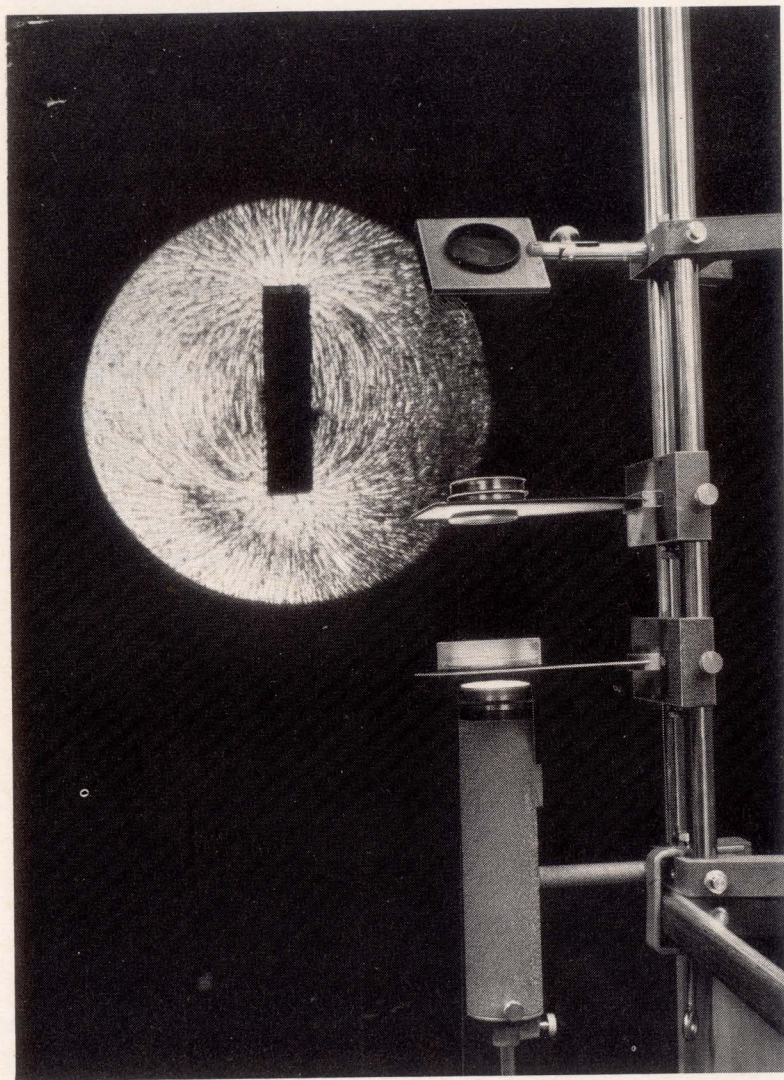
d

e

f

Dispóngase el aparato de modo que se obtenga una imagen en una pantalla o pared a una distancia de 2 ó 3 m del banco. (En el dispositivo fotografiado, la distancia era aprox. de 2 m). El ajuste a total intensidad y claridad puede lograrse con unos trozos pequeños de papel en el platillo de vidrio, que está inmediatamente sobre el imán.

Luego vacíese el platillo, y viértanse en él un par de mm de una pasta de polvo de hierro (no limaduras) en glicerina. La manera en que las partículas de hierro se distribuyen lentamente a lo largo de las líneas de fuerza magnética puede verse sobre la pantalla.



LA LUPA

Aparatos

Lámpara

Papel impermeable

Obturador con abertura en forma de 1

Cursor con

Porta-lente. En el porta

Lente + 10, "la lente ojo"

Cursor con

Porta-lente. En el porta

Lente + 15, la lupa

Pantalla, "la retina"

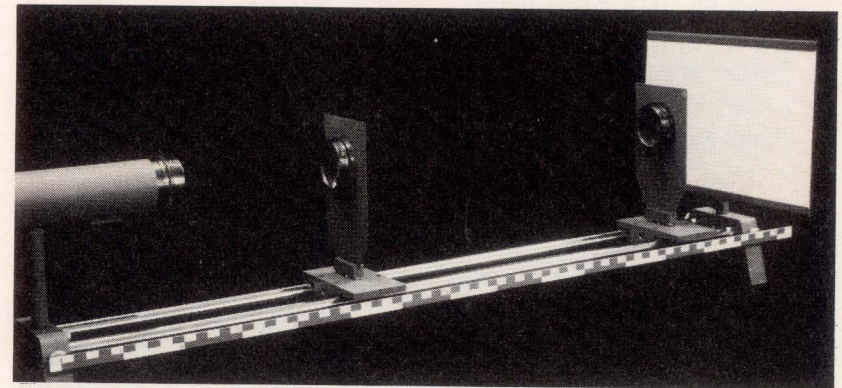
Posición

8

11

63

73

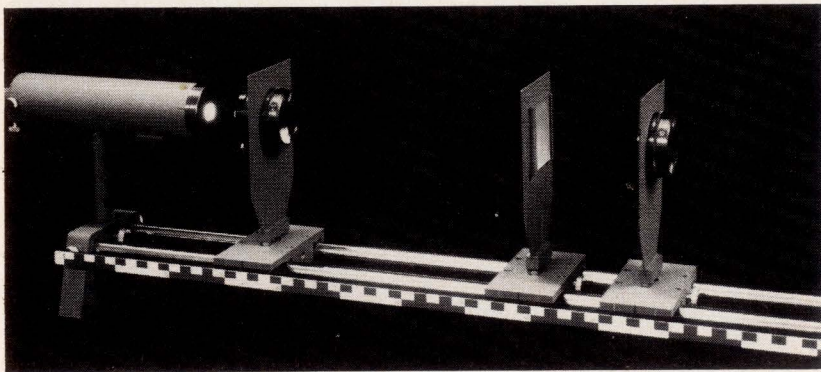


Colóquese el papel impermeable sobre la abertura en forma de 1 para producir un objeto mate. Colóquese la lente + 10 a 10 cm de la pantalla. El "ojo" ve ahora una nítida imagen de un objeto en el infinito. Si se quiere obtener una imagen del objeto en la retina, el ojo debe acomodarse.

Aléjese un poco la lente + 10 de la pantalla para obtener una imagen nítida. Obsérvese el tamaño de la imagen. Colóquese la lupa a (26) de manera que el objeto esté colocado en el plano focal de la lupa. La lente + 10 debe ser desplazada ahora a (63) para poder obtener una nítida imagen sobre la pantalla. La imagen es ahora mayor que antes sin que el "ojo" necesite acomodarse.

EL MICROSCOPIO

Aparatos	Posición
Lámpara	8
Obturador con abertura cuadrada en el tubo de la lámpara	11
Abertura cubierta con papel impermeable	
Cursor con	
Porta-lente. En el porta	
Diafragma de iris (1 cm de diám.) y	15
Lente + 5 (objetivo)	18
Cursor con	
Soporte para placas de 5 × 5. En el soporte	
Placa de vidrio esmerilado	c 38
Cursor con	
Porta-lente. En el porta	
Lente + 10 (ocular)	c 48
Papel milimetrado, 5 + 5 cm. Cinta	



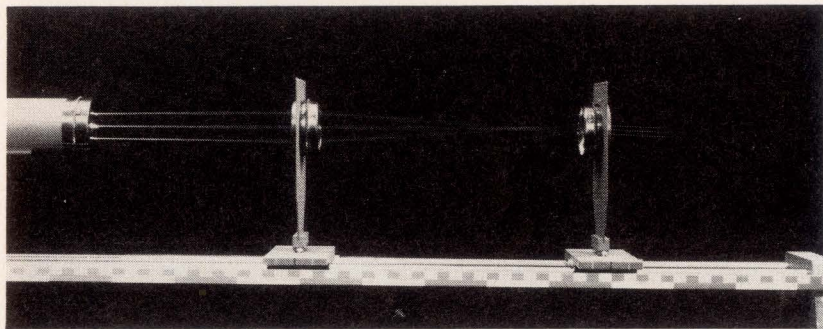
El papel impermeable sobre la abertura cuadrada representa la platina del microscopio. El objeto puede ser una figura dibujada en el papel o un ejemplar adherido con cinta al papel. Cuando los objetos son excesivamente transparentes, la iluminación puede ser moderada desplazando la lámpara hacia (0).

Desplácese la placa de vidrio esmerilado a lo largo del banco hasta que se obtenga en él, una imagen nítida del objeto. Obsérvese esta

imagen a través del ocular que debe estar ajustado de tal modo que se vea una imagen clara de la imagen real de la placa de vidrio esmerilado. (Si el ojo debe ver el objeto en el infinito, la distancia entre la placa y el ocular debe ser de 10 cm). Retírese la placa de vidrio esmerilado. El objeto se ve con el mismo aumento que antes (para ver enteramente el campo del objeto, el ojo debe estar en (58)).

EL TELESCOPIO ASTRONÓMICO

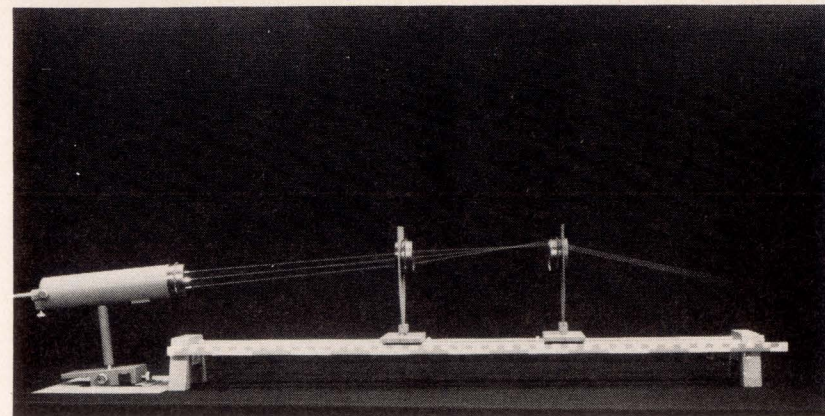
Aparatos	Posición
Lámpara	0
Lente + 10 en el tubo de la lámpara	10
Obturador tri-ranurado en la lente	11
Cursor con	
Porta-lente. En el porta	
Lente + 15 (objetivo)	30
Cursor con	
Porta-lente. En el porta	
Lente + 5 (ocular)	c 50
Humo	



- a) La lente + 10 y el obturador tri-ranurado producen tres rayos paralelos, que convergen en el foco del objetivo. Desplácese el ocular a lo largo del banco hasta que los rayos que emergen del ocular sean paralelos. (Los focos de las dos lentes coinciden entonces. La longitud del telescopio = $f_1 + f_2$).

El telescopio astronómico recoge luz de un objeto distante.

Es posible observar un objeto distante, v.g. un signo, o algo similar, a través de un telescopio. Se ve invertido.



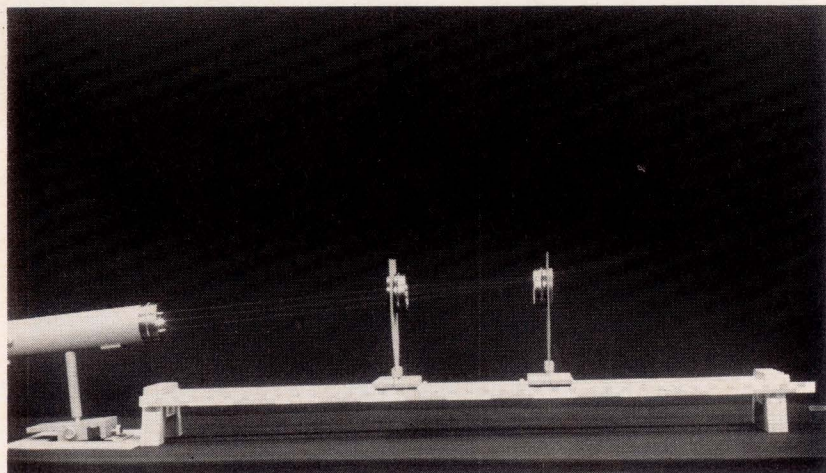
- b) *El poder de aumento del telescopio*

Colóquese la lámpara sobre la mesa, en el extremo del banco (véase la fotografía), de manera que los rayos paralelos encuentren el objeto en un pequeño ángulo con respecto al eje óptico, de los cuales el rayo central, encuentra el centro de la lente. Los rayos que emergen del telescopio están en un ángulo mayor con respecto al eje óptico que los rayos incidentes. La relación de éstos ángulos da el poder de aumento del telescopio. El telescopio invierte el haz de rayos.

EL TELESCOPIO DE GALILEO

Aparatos	Posición
Lámpara	0
Lente + 10 en el tubo de la lámpara	10
Obturador tri-ranurado en la lente	11
Cursor con	
Porta-lente. En el porta	
Lente + 30 (objetivo)	30
Cursor con	
Porta-lente. En el porta	
Lente - 10 (Ocular)	c 50
Humo	

- a) Desplácese un poco el ocular para obtener un haz emergente paralelo. (Los focos de las dos lentes coinciden entonces: la longitud del telescopio es $f_1 - f_2$). Con el telescopio dispuesto así, se puede observar un objeto distante. Se lo ve en la posición normal.

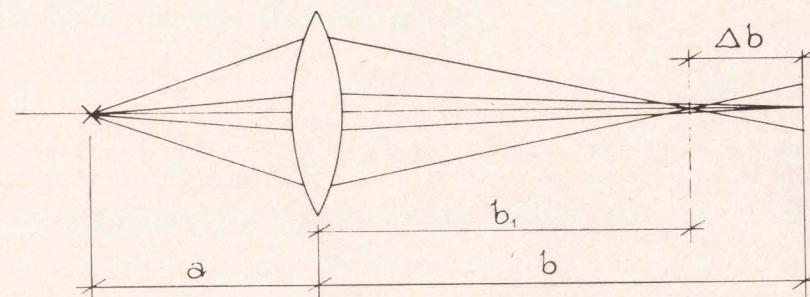


b) Poder de aumento

Esto puede ser demostrado en la misma forma que en el telescopio astronómico. El telescopio no invierte el haz de rayos.

ABERRACION ESFERICA

Aparatos	Posición
Lámpara	
Lente + 5 en el tubo de la lámpara	11
Cursor con	
Soporte para placas de 5×5 . En el soporte	
Placa de vidrio esmerilado, modelado	12
Pié con	
Porta-lente. En el porta	
Lente + 10 y	24
Diafragma de iris	22
Cursor con	
Pantalla	c 143
Porta-lente con	
Obturador con abertura en anillo	
(véase la descripción abajo)	22



El obturador con la abertura en forma de anillo puede fabricarse de la siguiente manera. Córtese un trozo circular de celuloide con un diámetro de 42 mm. Córtese un trozo circular de cartón negro con un diámetro de 30 mm, y pégueselo en el centro del círculo de celuloide.

El iris se usa para tapar todo excepto el centro de la lente, la abertura debe ser de unos 15 mm. Desplácese la lente y el diafragma de iris ahasta que se obtenga una nítida imagen de la placa modelada sobre la pantalla.

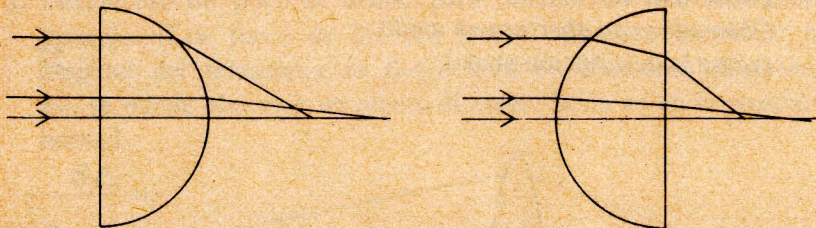
Sin mover la lente, reemplácese el diafragma de iris por el otro obturador, montado sobre su porta-lente. Asegúrese que ambos obtura-

dores estén cerca de la lente y a la misma distancia de ella. La pantalla debe ser ahora acercada a 1/2 m aproximadamente hacia la lente, con objeto de obtener una imagen nítida.

Repítase el mismo experimento con la lente + 30 y el mismo aumento (la pantalla aproximadamente a 3 m de la lente). El enfoque es más fácil si se usa un filtro de color, pero la imagen será más difusa.

La demostración también puede ser ejecutada con la placa de vidrio semicircular montada sobre la pantalla.

En un haz de luz que sea simétrico al eje óptico, los rayos que pasan a través de la periferia de la lente, convergen en un punto más cercano a la lente que los que atraviesan el centro de la lente.

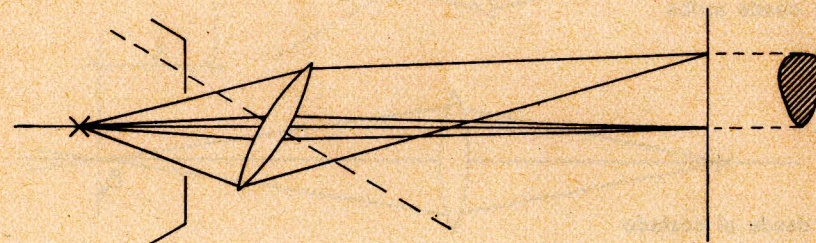


COMA

Aparatos	Posición
Lámpara	8
Cursor. Montado sobre el cursor	
Porta-espejo rotativo con	
Lente + 10 y	20
Diafragma de iris y	
Pantalla con abertura	
Pantall	150

El objeto es el filamento de la lámpara en "forma de punto". Obtén-gase una imagen nítida del filamento, con una abertura de iris de 15 mm de diámetro. Retírese el diafragma de iris y gírese la lente sobre su eje vertical.

El hecho de que el objeto no es un punto, junto con aberración esférica y astigmatismo, inducen a la imagen a salir distorsionada de la forma dada por la simple teoría. La aberración cromática puede reducirse por medio de un filtro de color.

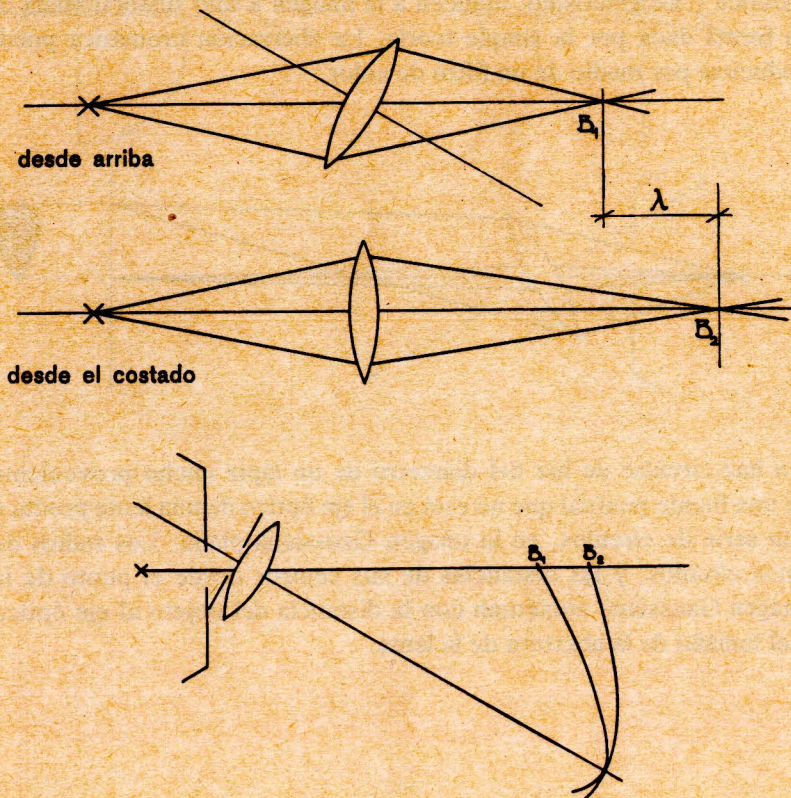


Un haz circular de luz del diámetro de un lápiz ancho proveniente de una fuente puntual que no está en el eje óptico de una lente produce una serie de círculos, en la imagen Gaussiana plana. Los radios de estos círculos, y las distancias de sus centros desde el punto de la imagen Gaussiana aumentan con la distancia del objeto al eje óptico y el tamaño de la abertura de la lente.

ASTIGMATISMO

Aparatos	Posición
Lámpara	0
Lente + 5 en el tubo de la lámpara	11
Cursor con	
Porta-espejo rotativo. En el porta	
Lente + 10 y	33
Diafragma de iris, abertura de 15 mm y	32
Pantalla con abertura	
Pié con	
Pantalla (traslúcida si se desea)	145

Con el objeto de eliminar aberración esférica y coma, los rayos periféricos son tapados por medio del iris.

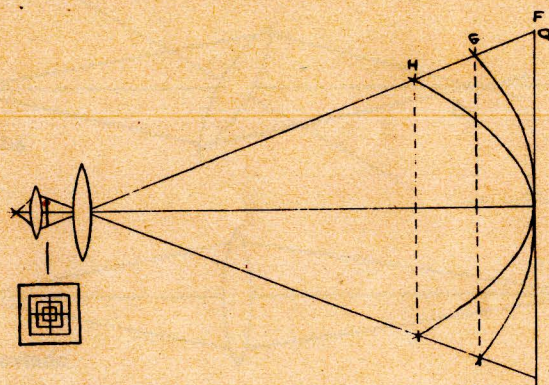


Una nítida imagen del filamento de la lámpara se obtiene primeramente con el objeto sobre el eje óptico. Luego gírese la lente unos 40° en relación con el eje vertical. La imagen es ahora una elipse con el eje mayor horizontal. Desplácese la pantalla lentamente hacia la lente. La elipse cambia de forma, volviéndose sucesivamente una línea recta horizontal (la imagen sagital), un círculo y una línea vertical (la imagen tangencial).

Si un objeto puntiforme no descansa sobre el eje óptico de la lente no se obtiene una imagen puntiforme, sino dos líneas que se cortan en ángulo recto a distintas distancias de la lente. (Además se obtienen elipses así como círculos en el campo focal).

CURVATURA DE LA SUPERFICIE DE LA IMAGEN.

Aparatos	Posición
Lámpara	8
Lente + 5 en el tubo de la lámpara	11
Cursor con	
Soporte para placas de 5×5 . En el soporte	
Placa de vidrio esmerilado modelado*)	12
Cursor con	
Porta-lente. En el porta	
Lente + 10 y	24
Diafragma de iris, abertura 15 mm, y	
Pantalla con abertura	
Pie con	
Pantalla	145



El condensador es necesario para obtener una iluminación uniforme de la imagen.

- Desplácese la lente y el diafragma de iris a lo largo del banco hasta que se obtenga una imagen nítida de la parte central del vidrio modelado en la pantalla (en posición F). Los bordes del vidrio modelado no son nítidos (debido a puntos astigmáticos en el plano objetivo, da elipses en Q en la figura).
- Desplácese la pantalla hacia G. Se obtiene una imagen nítida de los bordes de la línea central horizontal (los puntos objetivos se

vuelven cortas líneas horizontales en la imagen), y la parte central de la imagen no es nítida (círculos o elipses).

- Desplácese la pantalla hacia H. Se obtiene una nítida imagen de una línea en la parte más externa del vidrio modelado, en ángulos rectos a la línea central, porque cada punto de esta línea en el objeto cede un elemento lineal, perpendicular a la línea central de la imagen. La última línea no da imagen nítida.
- En lugar de la placa de vidrio esmerilado modelado, puede usarse un cuadrado de celuloide (5×5 cm) pintado de negro dejando en limpio una rueda y sus radios.

DISTORSION

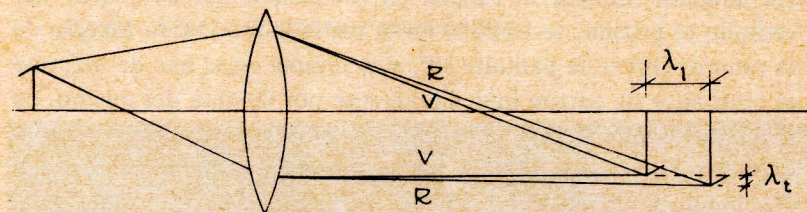
Aparatos	Posición
Lámpara	8
Cursor con	
Soporte para placa de 5×5 . En el soporte	
Placa de vidrio esmerilado modelado	11
Cursor con	
Porta-lente. En el porta	
lente + 5 y	17
Diafragma de iris y	
Pantalla con abertura	
Cursor con	
Porta-lente. En el porta	
Pantalla traslúcida	73

Primeramente colóquese el iris (abertura 20 mm) cerca de la lente y ajústese la posición de la lente hasta que se obtenga una imagen nítida sobre la pantalla (o, alternativamente, sobre la pared).

- a) Seguidamente colóquese el diafragma de iris cerca de la placa modelada (del lado de la lente que da al objeto), y redúzcase la abertura a 2 mm aproximadamente. La imagen de un punto tomado como objeto fuera del eje óptico está más cerca del eje, que lo que debiera estar de acuerdo a la fórmula de la lente; por lo tanto el aumento lateral disminuye cuando el punto-objeto está a una distancia mayor del eje óptico. Un cuadrado en el plano objetivo se vuelve en "forma de barril" en el plano de la imagen.
- b) Luego colóquese el diafragma de iris del lado de la lente que da a la imagen, a una posición de más ó menos 10 cm de la lente, sin alterar nada más. En este caso, la imagen de un punto-objeto está a mayor distancia del eje óptico que lo que debiera estar de acuerdo a la fórmula de la lente. El aumento lineal crece según aumenta la distancia del punto-objeto con respecto al eje, y un cuadrado en el plano objetivo toma la "forma de alfilerero" (distorsión en media luna) en el plano de la imagen.

ABERRACION CROMATICA

Aparatos	Posición
Lámpara	8
Lente + 5 en el tubo de la lámpara	11
Cursor. Montado en el cursor	
Soporte para placas de 5×5 con	
Placa de vidrio esmerilado modelado y	
Filtro rojo	
Filtro azul	
Cursor. Montado en el cursor	
Porta-lente con	
Lente + 10 y	23
Diafragma de iris, abertura 10 mm, y	
Pantalla con abertura	
Pié con	
Pantalla	45



Primeramente colóquese un filtro rojo delante de la lente, y ajústese la pantalla para obtener una imagen nítida. A continuación, reemplácese el filtro rojo por el azul. Ahora es necesario acercar al pantalla unos 20 cm de la lente, para obtener una imagen clara (aberración cromática longitudinal). Además la imagen es más pequeña en el último caso (aberración cromática lateral).

DISPERSION

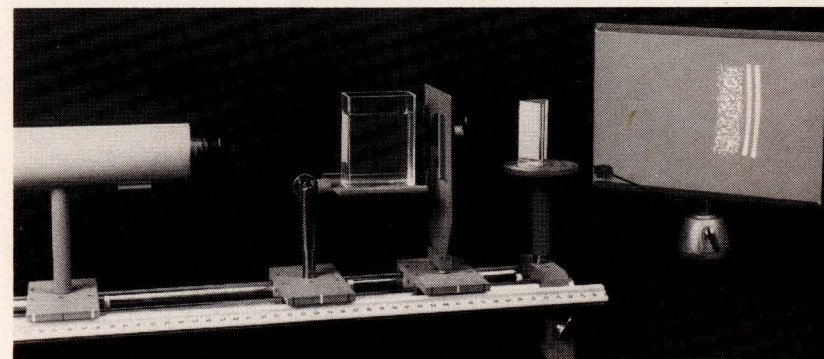
Aparatos	Posición
Lámpara	40
Lente +5 (condensador) en el tubo de la lámpara	
Obturador uni-ranurado	45
Cursor con	
Soporte para placas de 5×5 . En el soporte	
Lente + 15	c 65
Mesa de prisma. Sobre la mesa	75
Prisma con escala e hilo anudado al eje de la mesa	
Pantalla sobre pié	e.g. 155
Prisma hueco (b)	
Bisulfuro de carbono (b)	
Sal (c)	
Filtro rojo (a)	

Véase la fotografía en el próximo experimento (espectro de absorción)

- La lámpara ilumina la ranura en toda su longitud, y una vez retirado el prisma, se obtiene en la pantalla una nítida imagen de la ranura. Gírese la pantalla 40° , y el prisma en el haz de luz, con el obturador de cartón inmediatamente por delante del mismo, en el haz incidente. Gírese el prisma a la posición de mínima desviación. Un espectro se obtiene en la pantalla. La luz blanca ha sido descompuesta en colores. El más refractado por el prisma es el violeta; el menos, el rojo.
- Reemplácese el prisma de vidrio por el hueco lleno con bisulfuro de carbono. Colóquese el banco en la posición adecuada (alrededor de 10° más). Se encontrará que la extensión del espectro es tres veces mayor que antes.
- Llénese el prisma hueco hasta la mitad con solución saturada de sal, y termínese de llenar con agua. La manera en la cual la diferencia de concentración se uniforma puede ser seguida a través de la forma de la imagen de la ranura, si se coloca un filtro rojo en el soporte de 5×5 .

ESPECTRO DE ABSORCION

Aparatos	Posición
Lámpara	40
Lente + 5 (condensador) en el tubo de la lámpara	
Obturador uni-ranurado en la lente	45
Cursor con	
Soporte para placas de 5×5 . En el soporte	
Lente + 15	c 65
Placa de conexión con escala angular	
Mesa de prisma. Sobre la mesa	73
Prisma y	
Pantalla	155
Filtro de color	
Cursor con	
Porta-espejo rotativo. En el porta	
Recipiente rectangular lleno con	
Solución de clorofila (ver b),	
Solución de permanganato de potasio,	
Eosina o trozo de cobre + ácido nítrico	



Sobre la pantalla, se obtiene una imagen de la ranura, y el prisma es colocado en la posición de mínima desviación.

- En el soporte para placas, colóquense filtros de diferentes colores. Diferentes partes del espectro son absorbidas. (Compárese con los colores vistos por el ojo en observación directa de la luz reflejada o transmitida).

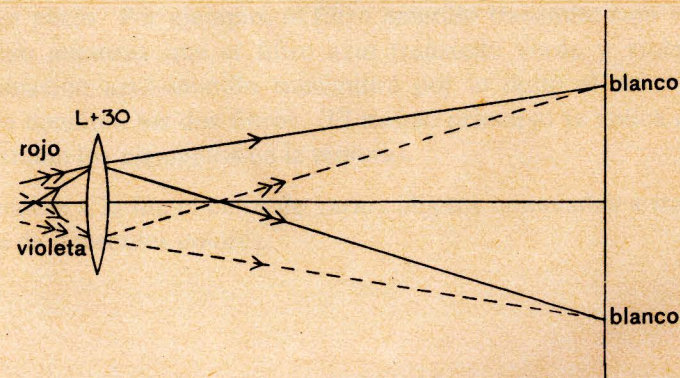
Por lo pronto, los granos de sulfuro son más pequeños que la longitud de onda de la luz visible, pero el tamaño del grano aumenta gradualmente. Los granos de sulfuro entonces dispersan la luz, y el paso del haz a través del recipiente se hace visible. Al principio solamente el extremo azul espectro es dispersado, mientras el rojo pasa a través del recipiente e ilumina la pantalla. Luego, a medida que los granos se agrandan, la luz roja también es dispersada; la banda luminosa en el recipiente se vuelve blanca y se oscurece la imagen en la pantalla.

Compárese el color del cielo cuando está completamente claro, y cuando hay neblina y nubosidad, y los colores de la puesta del sol. Compárese también el humo gris y azul del tabaco.

Nota. Si se mira el recipiente a través de un filtro polarizador se encontrará que la luz dispersada está polarizada.

COMBINACION ADITIVA DE LOS COLORES ESPECTRALES

Aparatos	Posición
Lámpara	40
Lente + 5. (Condensador) en el tubo de la lámpara	
Obturador uni-ranurado en la lente	45
Cursor con	
Soporte para placas de 5×5 . En el soporte	
Lente + 15	c 69
Mesa de prisma con escala e hilo anudado al eje de la mesa. Sobre la mesa	73
Prisma	
Cursor con	
Pantalla	c 115
Pié con porta espejo giratorio. En el porta	
Lente $\times 30$	
Trozo de acero para resorte brillante $2 \times 8 \text{ cm}^2$	(b)
Abrazadera	



El dispositivo es tal que los colores espectrales estarán combinados aproximadamente a dos metros del extremo del banco.

Cuando se retira el prisma, una nítida imagen de la ranura se obtiene sobre la pantalla en (115). Dispónganse el banco en un ángulo de 40° , y colóquese el prisma en posición de mínima desviación con el obturador de cartón delimitando el haz inci-

dente. Desplácese la pantalla a una posición de alrededor de dos metros del extremo del banco, y en su lugar colóquese la lente + 30. Esta lente produce ahora sobre la pantalla una imagen de la abertura del prisma, y en esta imagen *los colores espectrales están re combinados en luz blanca* (estrictamente hablando, la luz amarilla de la lámpara). Acercando la lámpara al condensador se puede iluminar más enteramente la abertura del prisma. Para tapar determinados colores en la lente + 30, puede usarse una tira estrecha de cartón negro, y entonces aparece sobre la pantalla el color complementario.

COMBINACION SUBTRACTIVA DE COLORES

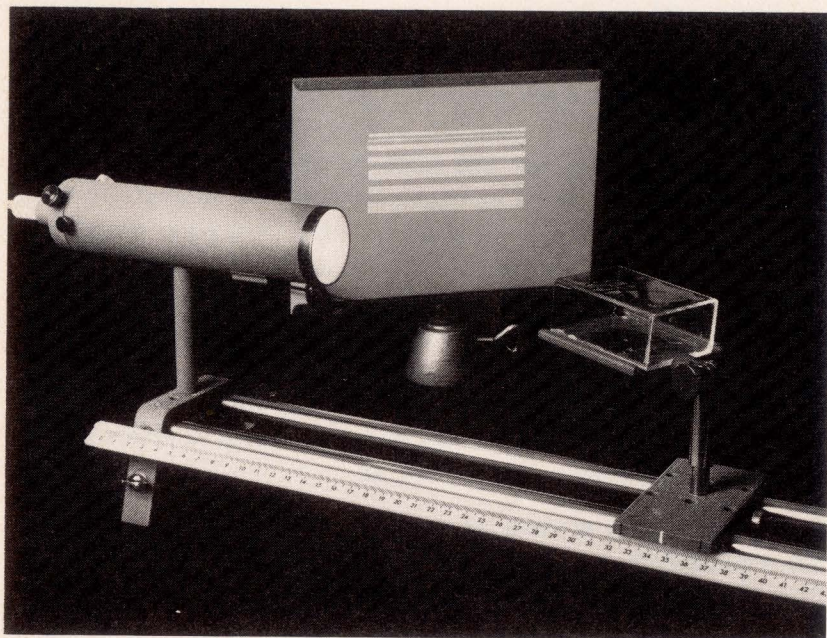
<i>Aparatos</i>	<i>Posición</i>
<i>Lámpara</i>	4
<i>Lente + 5.</i> En el tubo de la lámpara	11
<i>Cursor con</i>	
<i>Soporte para placas de 5 × 5.</i> En el soporte	12
2 filtros de tres colores, cruzados	
<i>Cursor con</i>	
<i>Porta-lente.</i> En el porta	
<i>Lente + 10</i>	25
<i>Pantalla</i>	73

El dispositivo es el mismo que para el proyector. Si se desea obtener la imagen del filtro en la pantalla, a mayor distancia, la lente + 10 debe ser reemplazada por una lente de mayor longitud focal. La imagen está dividida ahora en nueve secciones de diferentes colores – los colores del filtro rojo, amarillo y azul, y los colores mezclados, anaranjado, verde y violeta. Si cada color del filtro es examinado separadamente con el aparato espectral, se encontrará que los colores no son puros. Por ejemplo, el filtro amarillo transmite rojo y verde también mientras que el filtro azul transmite verde y violeta. La combinación azul-amarillo transmitirá por lo tanto el color verde, que es común a los dos filtros. (El mismo principio se aplica cuando se mezclan los pigmentos en la pintura).

Examínese a la luz el color de varios objetos coloreados a través de filtros de diferentes colores.

INTERFERENCIAS EN PELICULAS DELGADAS

Aparatos	Posición
Lámpara	8
Cursor con	
Porta-espejo rotativo. En el porta	
Recipiente rectangular	c 30
Pantalla, detrás de la lámpara	
Recipiente conteniendo solución de jabón en polvo	



Introdúzcase el extremo abierto del recipiente en la solución jabonosa, y luego colóquese el recipiente con la fina película formada frente a la lámpara. Las bandas coloreadas debidas a la interferencia aparecen sobre la pantalla o sobre una pared blanca, detrás de la lámpara. La intensidad de las bandas de interferencia es alta.

Los sistemas de ondas de interferencia pueden también obtenerse por reflexión en un trozo de mica muy delgado, o en la capa de aire encerrada entre dos hojas planas de vidrio.

EXPERIMENTO DE YOUNG. INTERFERENCIA DE ONDAS AL PASAR A TRAVES DE DOS RANURAS

Aparatos	Posición
Lámpara	
Lente + 5. (Condensador) en el tubo de la lámpara	11
Cursor con	
Soporte para placas de 5 × 5. En el soporte	12
Filtro coloreado y	
Obturador de ranura ajustable	
Cursor con	
Porta-lente. En el porta	50
Ranura doble (ver debajo)	
Porta-espejo rotativo. En el porta	73
Espejo 7 × 7 cm	
Pantalla traslúcida	

Una manera de hacer la doble ranura es la siguiente. Por medio de cinta adhesiva transparente adhírase un trozo de alambre de acero de 0,40 mm de 4 cm de largo al obturador uni-ranurado, de manera que la ranura de 0,70 mm de ancho se divida en dos ranuras de 0,15 mm de ancho.

Retírese el filtro y el obturador de ranura ajustable, y ajústese el condensador para obtener una iluminación adecuada de la doble ranura. Restitúyase el filtro y el obturador de ranura ajustable (aprox. 0,1 mm de ancho), estando la ranura de éste perfectamente paralela a la doble ranura.

Las bandas de interferencia pueden ser vistas directamente en la pantalla, o después de la reflexión en el espejo rotativo, sobre una pantalla traslúcida que puede ser mostrada a la clase (También puede ser usada una lupa).

El experimento puede ser usado para determinar el orden de magnitud de la longitud de onda de la luz de un filtro coloreado (una longitud de honda promedio, dado que la luz no es monocromática). Para esto, la distancia entre dos bandas oscuras o de luz, adyacentes, pueden ser medidas con un calibre sobre una pantalla traslúcida.

DIFRACCION DE LA LUZ POR UNA RANURA (a) Y POR UNA AGUJA (b)

Aparatos	Posición
Lámpara	
Lente + 5. (Condensador) en el tubo de la lámpara	11
Cursor con	
Soporte para placas de 5×5 . En el soporte	c 15
Filtro coloreado y	
Obturador uni-ranurado	
Cursor con	
Porta-lente. En el porta	c 40
Obturador de ranura ajustable } (a)	
Pantalla traslúcida	
Mesa de prisma. En la mesa	c 40
aguja o trozo de alambre clavado en un corcho } (b)	

La ranura en (15) es una fuente lineal de luz, y debe estar fuertemente iluminada. Las ranuras, y la aguja y la ranura deben estar en ambos casos exactamente paralelas. El ejemplo de difracción puede verse sobre la pantalla a pocos metros del objeto difractado. También puede ser examinado con una lupa, desde atrás de la pantalla.

FILTROS DE POLARIZACION

Aparatos	Posición
Lámpara	0
Diaphragma de iris, en el tubo de la lámpara	12
Cursor con	
Soporte para placas de 5×5 . En el soporte	
Filtro rojo y	
Filtro de polarización. (Polarizador)	20
Cursor con	
Porta-lente. En el porta	
Filtro de polarización (analizador) y	50
Pantalla con abertura	
Pantalla	73

El filtro de polarización consiste en microscópicos cristales de herapatita incrustados en una lámina de material plástico. En el proceso de manufactura han sido orientados de tal modo que sus ejes ópticos son paralelos. Estos polarizan la luz completamente en la región de la longitud de onda donde el ojo es más sensible (A pesar de que la polarización es imperfecta para la luz azul). Los filtros no deben ser calentados sobre los 55°C en ningún espacio de tiempo, y consecuentemente no deben ser colocados directamente en el tubo de la lámpara.

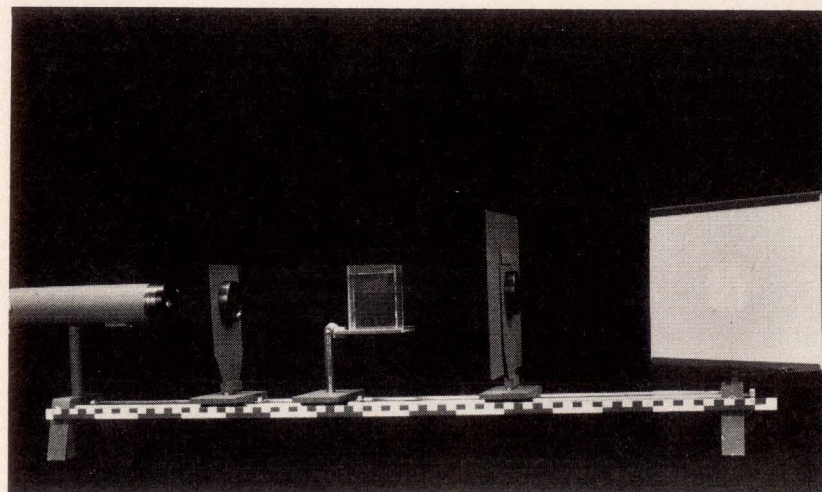
- Retírese uno de los filtros y gírese el otro sobre su soporte. La luz de la lámpara es transmitida en todas las posiciones. Insértese el otro filtro nuevamente, y gíreselo sobre sí mismo. En una de las posiciones hay extinción completa (excepto para la luz azul); se dice entonces que los filtros están cruzados. Según se gira el filtro fuera de esta posición la luz transmitida se hace más brillante, y alcanza un máximo a 90° de la posición anterior; de dice entonces que los filtros están paralelos. La extinción se produce nuevamente después de girar otros 90° .
- La luz polarizada en mayor o menor grado, se encuentra frecuentemente en la naturaleza.
 - Obsérvese un cielo azul a través de un filtro polarizador y gírese el filtro en su plano. La luz dispersa por pequeñas partículas en la atmósfera es parcialmente polarizada. (Cf.p.80.)
 - Permítase que la luz brille en la página de un libro, de manera que sea reflejada hacia el ojo. Sosténgase un filtro entre el libro

y el ojo. En una determinada posición la reflexión brillante desaparece (vidrios polaroid, filtros polarizadores para cámaras). La luz reflejada desde el libro es parcialmente polarizada.

El mismo efecto se obtiene con el filtro entre la lámpara y el libro (iluminación libre-reflejo).

ROTACION DEL PLANO DE POLARIZACION (a). DOBLE REFRACCION (b)

Aparatos	Posición
Lámpara	0
Diafragma de iris en el tubo de la lámpara	12
Cursor con	
Soporte para placas de 5×5 . En el soporte	
Filtro rojo y	
Polarizador	20
Cursor con	
Porta-espejo rotativo	30
Recipiente rectangular conteniendo	
Solución concentrada de azúcar	
Cursor con	
Porta-lente. En el porta	
Analizador y	50
Pantalla con abertura cuadrada	
Pantalla	73
Hoja delgada de mica o celofán liso (b)	



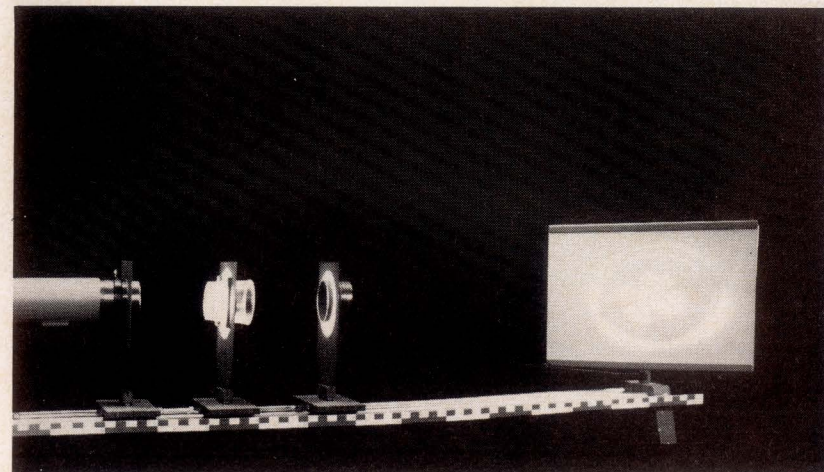
- a) Ajustese el iris para que produzca un haz de alrededor de dos milímetros de ancho. Gírese el analizador a la posición de extinción, retirando previamente el recipiente rectangular. Repóngase

el recipiente, primero con la cara más angosta colocada perpendicularmente, y luego con la mayor. En cada caso, gírese el analizador hasta encontrar la nueva posición de extinción. El azúcar en solución causa la rotación del plano de polarización. La rotación del ángulo depende de la concentración de la solución y de la longitud de la trayectoria de la luz a través de la solución.

- b) En lugar del recipiente conteniendo solución azucarada, colóquese en ángulo recto con el haz de luz, la hoja de mica. Se encontrará que esta también causa la rotación del ángulo de polarización. Pónganse los filtros de polarización en posición cruzada, y gírese la mica lentamente alrededor del eje del haz. Se encontrará que la extinción se produce en *cuatro* posiciones a 90° una de otra. En la mica se produce *doble refracción*, y esto explica el hecho que en el presente caso un rayo pase inalterado a través de la hoja de mica en el plano polarizado en dos direcciones que son perpendiculares entre sí.

DEMONSTRACION DE LAS TENSIONES EN MATERIALES TRANSPARENTES (DOBLE REFRACCION DEBIDA A LA TENSION)

Aparatos	Posición
Lámpara	6
Lente + 5 (condensador) en el tubo de la lámpara	11
Diafragma de iris en la lente	12
Cursor con	
Porta-lente. En el porta	
Polarizador y	20
Pantalla con abertura	
Cursor con	
Soporte para placas de 5×5 . En el soporte	30
Placa de material transparente sometida a tensión	
Cursor con	
Porta-lente. En el porta	
Lente + 15 y	c 40
Analizador	
Pantalla	



La placa transparente está iluminada por la luz del condensador, y una imagen sobre la pantalla es formada por la lente + 15. Retírese la placa y crúcense los filtros de polarización. Cuando la placa es repues-

ta, una figura aparecerá en la pantalla, debido a la doble refracción en las partes del material sometidas a tensión.

Son placas adecuadas para estos experimentos:

Placas de vidrio de 5×5 que han sido calentadas en sus esquinas con una llama no fuliginosa (verbigracia la llama de un encendedor).

Un trozo de perspex o celuloide dentro de los cuales esté un tornillo atornillado. La parte inferior de un envase de plástico moldeado, etc.

Nota: El mismo dispositivo experimental puede ser usado también para demostrar la interferencia entre las ondas ordinarias y extraordinarias en las placas doble refractivas donde los espesores varíen, por ejemplo, cruzando tiras de cinta de celulosa en una placa de 5×5 ; hojas de mica de variados espesores.



(Las figuras muestran experimentos con una pieza circular de plástico moldeado, en un cuarto iluminado y en uno a oscuras).

Este equipo pertenece a los equipos de experimentos de Esselte Studium, los cuales comprenden las siguientes asignaturas:

CALOR

equipo para demostraciones y para el trabajo práctico.

ELECTRICIDAD

equipo para demostraciones y para el trabajo práctico.

FISICA GENERAL Y MECANICA

equipo para demostraciones y para el trabajo práctico.

OPTICA

equipo para demostraciones y para el trabajo práctico.

TELETECNICA

equipo para demostraciones y para el trabajo práctico.

Solicite prospectos a



ESSELTE STUDIUM

S-112 85 STOCKHOLM, SUECIA

Teléfono: 08/52 06 60

Dirección telegráfica: ESSELTESTUDIUM

5550-754